

Transferencia de la *Estrategia de Control de Variables*: La experimentación de niños en situaciones de incertidumbre

Sergio Marcucci Tamayo (2022786)

Josué Esteban Vallejo Rengifo (2022563)

Proyecto final de Trabajo de Grado como requisito
parcial para optar por el título de Psicólogo

Director de trabajo de grado:

Oscar Ordoñez Morales

Programa Académico de Psicología, Facultad de Psicología

Universidad del Valle

Sede Meléndez, Cali.

2025

Tabla de contenido

Índice de tablas y figuras	4
Resumen.....	5
Capítulo 1.....	6
Introducción	6
Antecedentes	7
Planteamiento del problema.....	9
Operacionalización del problema.....	14
Preguntas de investigación.....	17
Objetivos	17
General.....	17
Específicos	17
Justificación	18
Alcances y limitaciones	19
Capítulo 2.....	21
Revisión de literatura	21
Razonamiento científico y experimentación	21
Descripción de la ECV.....	23
Condición experimental: La Instrucción Directa	26
Condición experimental: La incertidumbre	27
Transferencia bajo incertidumbre: la herramienta de la invención	30
Transferencia y Sistemas Dinámicos	34
Capítulo 3.....	38
Metodología	38
Participantes	38
Protocolo ético	39
Diseño	39
Tareas.....	42
Familiarización	42

	3
Tarea 1 (virtual). Ley de Equilibrio.	43
Tarea 2 (virtual). Carro trampa.	43
Tarea 3 (virtual). Tarea de engranajes.	44
Tarea 4 (física). Catapulta.	45
Condición de invención (IV).....	46
Condición de Instrucción Directa (ID).....	46
Procedimiento	46
Sesión 1: Ley de Equilibrio (virtual).....	47
Sesión 2: Carro Trampa (virtual)	49
Sesión 3: Engranajes (virtual).....	50
Sesión 4: Catapulta (física)	51
Recolección de datos.....	51
Validación y rigor	52
Organización de los datos	53
Análisis de resultados	54
Comparación de la evolución en el desempeño de los participantes en la Explicación y el Uso de la ECV	54
Desempeño por nivel de dominio	57
Análisis del cambio entre los niveles de dominio de la ECV a partir de matrices de transición	60
Correlación entre dominios: análisis intraindividual de la trayectoria de variabilidad de los sujetos	64
Análisis intraindividual del cambio: matrices de transición	69
Capítulo 5.....	73
Discusión y conclusiones.....	73
La disociación entre Explicación y Uso ¿De qué manera influyó la actividad de invención frente a la instrucción directa?	73
¿Cómo varían las trayectorias en la implementación de la ECV entre los participantes y a lo largo del tiempo en cada uno de ellos?	78
¿Se transfiere la ECV desde tareas virtuales a tareas físicas? ¿Qué pasó cuando dejaron de enfrentarse a una pantalla por un espacio físico abierto?.....	80
Para futuras investigaciones.....	82
Referencias.....	84
Apéndices.....	94

Índice de tablas y figuras

Figura 1. Tabla de Explicaciones de la ECV	14
Figura 2. Tabla del Uso de la ECV	15
Figura 3. Diseño esquemático del diseño microgenético	40
Figura 4. Ejemplo de realización de la tarea Ley de Equilibrio	43
Figura 5. Ejemplo de realización de la tarea Carro Trampa	44
Figura 6. Ejemplo de realización de la tarea Engranajes.....	45
Figura 7. Ejemplo de realización de la tarea Catapulta.....	45
Figura 8 Comparación de grupos en el dominio de Explicaciones de la ECV	56
Figura 9. Comparación de grupo en el dominio de Uso de la ECV	57
Figura 10. Porcentaje por nivel de Explicación y Uso: IV vs ID	59
Figura 11. Diagramas de transición por condición y Explicación de ECV.....	61
Figura 12. Diagramas de transición por condición y Uso de ECV	64
Figura 13. Coeficiente de correlación de Spearman: asociación entre Explicación y Uso por sujeto	65
Figura 14. Series temporales intraindividuales para los casos de la condición IV.....	67
Figura 15. Series temporales intraindividuales para los casos de la condición ID.....	68
Figura 16. Diagramas de transición intraindividual: participantes en la condición IV.....	70
Figura 17. Diagramas de transición intraindividual: participantes en la condición ID.....	72

Resumen

El presente trabajo de grado exploró la transferencia de la Estrategia de Control de Variables (ECV) en niños de 5 a 9 años. Utilizamos un diseño microgenético de medidas repetidas para observar la emergencia, el ajuste y la variabilidad de la ECV a lo largo de cuatro sesiones, con tareas experimentales que transitaron de entornos virtuales a uno físico. El estudio comparó dos condiciones de intervención basadas en la incertidumbre: Instrucción Directa (ID) e Invención (IV), donde el grupo IV fue expuesto a actividades de invención creativas. Los resultados inter-grupos revelaron una disociación entre el Uso (ejecución) y la Explicación (razonamiento) de la ECV.

Cómo técnicas para el análisis de resultados, se usaron gráficos de series temporales, matrices de transición y el Coeficiente de Correlación de Spearman. Estos muestran que la condición de ID produjo trayectorias de desempeño más variables, especialmente en el dominio de la Explicación. Los participantes de esta condición mostraron un mayor desempeño en general en ambos dominios. Los participantes en la condición IV, consiguieron alcanzar el dominio pleno (Nivel 4) de la ECV en la fase de transferencia remota (tarea física), a pesar de la falta de información, sugiriendo que la incertidumbre, mediada por la invención, actúa como un catalizador para la autoorganización de estrategias de experimentación más robustas y transferibles. Los hallazgos sugieren que la transferencia es un proceso dinámico de ensamblaje blando (*soft-assembly*) y aportan evidencia empírica para el diseño de entornos educativos que integran la exploración guiada y la incertidumbre productiva.

Palabras clave: Transferencia, Estrategia de Control de Variables (ECV), experimentación, incertidumbre, Sistemas Dinámicos Complejos, invención, exploración, instrucción directa.

Capítulo 1

Introducción

“La honestidad intelectual no es equivalente a la negativa de asumir un riesgo intelectual, e incluso la negativa a considerar que lo nuevo y emocionalmente perturbador carece de mérito ético particular”

Norbert Wiener, *Dios y Golem*, S.A.

El presente trabajo de grado analizó la *transferencia* de la *Estrategia de Control de Variables* (en adelante, *ECV*) como una forma de *experimentación* usada para resolver problemas presentados a través de tareas manipulativas con distintos niveles de incertidumbre, seleccionadas para niños entre 5 y 9 años. Los anteriores conceptos (i.e, *transferencia*, *experimentación*, *ECV*, *incertidumbre*) se abordaron desde la perspectiva teórica de los *sistemas dinámicos complejos* (Kunnen, 2012; Thelen & Smith, 1994) y desde sus aplicaciones evidenciadas en trabajos empíricos en la psicología cognitiva (Guevara et al., 2020). Esta última concibe la experimentación como una habilidad de *razonamiento científico* que implica la exploración activa y sistemática de objetos y situaciones (Klahr & Chen, 1999; Köksal-Tuncer & Sodian, 2018; Schlatter et al., 2021).

La incertidumbre se definió como falta de información sobre variables involucradas en una tarea (Lamnina & Chase, 2019; 2021) lo que ha mostrado ser un predictor para la exploración (Cook et al., 2011) y la experimentación en niños (Köksal-Tuncer & Sodian, 2018). Al partir de las bases teóricas y metodológicas anteriormente mencionadas, se adoptó una visión dinámica del *desarrollo* y *aprendizaje* como procesos de cambio, ajuste e iteración que facilitan la adquisición e implementación de la estrategia de experimentación evaluada. Para reflejar esto, se utilizó un diseño microgenético que permitió observar y analizar la transferencia dinámica de la ECV a través de cuatro sesiones espaciadas a lo largo de dos semanas.

La transferencia de la ECV se analizó a través de dos condiciones de *incertidumbre*: *Instrucción Directa* (ID) e *Invención* (IV). Los niños que recibieron instrucción directa enfrentaron los problemas con incertidumbre baja o nula, es decir, con una exposición previa a los componentes resolutivos de la tarea. En contraste, la condición de mayor incertidumbre (IV) se operacionalizó mediante una actividad de *invención* previa a los problemas de cada tarea: los niños inventaron un objeto o situación que les ayudó a representar mejor las variables del problema. La invención, entendida como la creación de fórmulas o métodos para resolver problemas (Schwartz et al., 2011), está relacionada con la transferencia como un predictor positivo, permitiendo que el niño explore sus conocimientos previos antes de abordar el contenido teórico y metodológico para resolver la tarea (Lamnina & Chase, 2019, 2021; Schwartz et al., 2011).

Antecedentes

Este estudio se inscribe en la perspectiva de los sistemas dinámicos complejos, trabajando con autores clave como Guevara, Rojas-Ospina y van Geert (2020), Kunnen (2012), van Dijk (2021) y los fundamentos de Thelen y Smith (1994). Bajo esta mirada, el desarrollo cognitivo y el aprendizaje no se conciben como estados estáticos o adquisiciones lineales, sino como procesos de cambio, ajuste e iteración que emergen en tiempo real. Esta perspectiva influye radicalmente en la visión de la transferencia de este trabajo, entendiéndola no como un mero traspaso mecánico de información entre contextos, sino como un proceso de *soft-assembly* (ensamblaje blando, Kunnen, 2012). Aquí, la transferencia surge de la interacción constante entre el sujeto y las demandas de la tarea, donde la *autoorganización* y la *multicausalidad* permiten que el niño ajuste su conocimiento a nuevas situaciones.

Dentro del razonamiento científico, nos centramos en la *experimentación*, definida como la capacidad de diseñar e implementar investigaciones sin factores de confusión (Klahr et al., 2019). El núcleo procedimental de este trabajo es la *Estrategia de Control de Variables (ECV)*, también conocida previamente en la literatura como la estrategia VOTAT (*Variar una cosa a la vez*, por sus siglas en inglés) como lo menciona Zimmerman (2005). La lógica de la *ECV* implica no solo la manipulación técnica de una variable focal manteniendo las demás constantes para producir inferencias causales válidas, sino también la capacidad de distinguir entre experimentos "confusos" y "no confusos". Autores como Zimmerman (2005), Tschirgi (1980) y Schlatter et al. (2021) subrayan que esta habilidad está influenciada por factores situacionales y la comprensión de la indeterminación inherente a los sistemas complejos.

Un pilar fundamental para esta tesis es el estudio de Klahr y Chen (1999), del cual retomamos tanto el diseño conceptual como los constructos de evaluación. De este estudio derivamos nuestra matriz de codificación para los dominios Uso (ejecución técnica) y Explicación (razonamiento verbal) de la *ECV*, clasificando el desempeño en niveles que van desde la no respuesta hasta el control total de variables. Aunque estos autores mostraron que el entrenamiento favorece la transferencia analógica, su enfoque ha sido criticado por medir la transferencia de forma estática y binaria (respuestas de "sí" o "no"), lo que deja un vacío conceptual sobre cómo ocurre el proceso de cambio en tiempo real.

Metodológicamente, este trabajo retoma y adapta tareas experimentales validadas en estudios previos del grupo de investigación "Cognición, Ciencia y Matemáticas" de la Universidad del Valle. Específicamente, se emplean tareas diseñadas originalmente por Ordóñez (2025) para evaluar la variabilidad intraindividual en el razonamiento causal, y el programa del paradigma del *carrito trampa* utilizado en el estudio de Valencia (2014). Estos trabajos previos

constituyen el antecedente directo, proporcionando tanto el marco de análisis microgenético como los instrumentos para observar la aplicación de la ECV.

Para robustecer el análisis de la transferencia bajo condiciones de incertidumbre, nos apoyamos en los trabajos de autores especializados en el tema. Lamnina y Chase (2019) definen la incertidumbre como la falta de información o ambigüedad en una tarea, actuando como un potente predictor de la curiosidad y el aprendizaje. Por su parte, el paradigma de Schwartz (2011) introduce el debate entre la instrucción directa (decir primero) y la invención (enfrentar al niño a problemas inciertos para que genere sus propias fórmulas antes de recibir la teoría). Sus resultados sugieren que el grupo de invención (inventar con casos contrastantes, ICC) desarrolla una comprensión más profunda y adaptable de las estructuras físicas, lo cual es vital para nuestra hipótesis sobre la transferencia dinámica.

Planteamiento del problema

El enfoque de este trabajo pretende ser un ‘zoom’ al concepto de razonamiento científico que, en las últimas décadas, se ha definido como el conjunto de habilidades de razonamiento y resolución de problemas involucradas en la generación, prueba y revisión de hipótesis o teorías y se entiende como la búsqueda intencional de conocimiento (Kuhn, 2014; Morris et al., 2012, como se citan en Köksal-Tuncer & Sodian, 2018). Dentro del conjunto de habilidades del razonamiento científico, este trabajo se centra en la *experimentación*, definida como la capacidad de diseñar y realizar experimentos para probar hipótesis (Schlatter et al., 2021).

Esta comprensión del desarrollo cognitivo enmarca el debate latente sobre el aprendizaje de las habilidades de experimentación: si es preferible impartir una instrucción directa o permitir que los estudiantes comprendan los contenidos mediante el descubrimiento propio. Los estudios

sobre experimentación en la primera infancia (Cook et al., 2011; Lamnina & Chase 2021; Oscar, 2025) han ampliado la comprensión del desarrollo cognitivo, el razonamiento, la creatividad y la curiosidad científica. Aunque la literatura consultada presenta resultados mixtos a favor de ambas formas de pedagogía, consideramos necesario profundizar en este debate incorporando una perspectiva dinámica y detallada del cambio cognitivo. Algunos estudios relevantes han aportado a esta discusión de carácter metodológico a lo largo de los años.

El estudio de Klahr y Chen (1999) investigó la adquisición y transferencia de la Estrategia de Control de Variables (ECV) en niños de segundo a cuarto grado (7-10 años) bajo tres condiciones de instrucción (entrenamiento/sondeo/explicación; solo sondeo; grupo control). Se evaluó el desempeño de la ECV en tareas de física (Resortes, Pendientes, Hundimiento) y su transferencia analógica siete meses después. Los resultados indicaron que los niños de tercer y cuarto grado con participación activa, entrenamiento y sondeo mostraron mejor uso y transferencia de la ECV que los otros grupos. Esto sugiere que la participación activa, la exploración, el entrenamiento y la reflexión favorecen la comprensión profunda y la transferencia de habilidades de razonamiento científico como la ECV. Sin embargo, el enfoque tradicional de transferencia de Klahr y Chen (1999) se limitó a una perspectiva de "conocimiento estático" con respuestas binarias, descuidando el proceso de cambio cognitivo en tiempo real. Por ello, se considera necesario actualizar este experimento con un enfoque más dinámico y contemporáneo de la transferencia.

Frente a la instrucción directa, algunos estudios indican que la exploración, el descubrimiento y la incertidumbre son claves para la transferencia de estrategias de experimentación como la ECV. La incertidumbre (desconocimiento o ambigüedad) es crucial en la experimentación y resolución de problemas. Se ha encontrado que los niños se interesan más

en problemas ambiguos o con hipótesis causales falsas, activando su curiosidad (Cook et al., 2011; Köksal-Tuncer & Sodian, 2018). En condiciones de alta incertidumbre, los sujetos aíslan variables para obtener más información. Lamnina y Chase (2019) sostienen que la incertidumbre fomenta la curiosidad, que a su vez se asocia con un mayor aprendizaje y construcción de conocimiento. Sus resultados mostraron un efecto significativo de la incertidumbre (esperada o inesperada) en la transferencia de conocimiento de relaciones de variables a otros escenarios cotidianos. Sugieren investigar el nivel óptimo de incertidumbre, abriendo la puerta a estudios con la perspectiva de Sistemas Dinámicos.

Inicialmente, se propuso una relación entre incertidumbre, curiosidad y aprendizaje, pero el análisis reveló que la incertidumbre predice mejor la transferencia, y la relación entre curiosidad y transferencia resultó ser espuria. Actualmente, se entiende que la transferencia de habilidades no solo depende de la adquisición de reglas abstractas, sino también de la gestión productiva de la incertidumbre cognitiva (Lapidow et al., 2022). Esta incertidumbre funciona como una señal de error que impulsa la invención (Chase & Klahr, 2017), generando una estructura conceptual profunda esencial para la transferencia.

En lo que respecta a este estudio, la transferencia cognitiva se ha definido tradicionalmente como el traspaso de información y habilidades desde una experiencia o contexto específico hacia otro nuevo y diferente (Klahr y Chen, 2011; Lamnina y Chase, 2019; Singley y Anderson, 1989). Esta interpretación está principalmente asociada con el enfoque del razonamiento analógico, como se indicó anteriormente. Aunque Lapidow y Walker (2024) hayan aterrizado su explicación en el terreno del razonamiento científico, se debe considerar la definición más robusta de transferencia, ofrecida desde la perspectiva más contemporánea de los sistemas dinámicos complejos: “un proceso en tiempo real resultante de la emergencia y

autoorganización de conocimientos nuevos y previos; la transferencia se produce como el ajuste del conocimiento a las demandas y limitaciones de una nueva situación” (Guevara et al., 2020, p. 6). Esta visión del aprendizaje como un proceso dinámico implica que la transferencia no es un procedimiento mecánico simple de exportación de conocimientos, sino una transformación continua de estos (Guevara et al., 2020). Es importante señalar que esta perspectiva no se ha implementado ampliamente en los estudios sobre transferencia y razonamiento científico.

Los hallazgos sugieren que la transferencia es una característica intrínseca del aprendizaje, caracterizada por la multicausalidad y la variabilidad, donde el conocimiento se transforma y reconfigura mediante un ensamblaje suave (*soft-assembly*) para responder a las demandas y restricciones de nuevas situaciones. Bajo este enfoque, el proceso implica una calibración funcional en la que el aprendiz ajusta constantemente su desempeño basándose en la retroalimentación de sus propias acciones y en la comprensión de las metas del problema. Finalmente, el estudio destaca que las tareas de manipulación (*hands-on*) favorecen una mejor integración de elementos clave en comparación con formatos multimedia que restringen la exploración, lo que sugiere que la evaluación educativa debe enfocarse en la capacidad de los niños para adaptar activamente su conocimiento en tiempo real en lugar de limitarse a medir el éxito o el fracaso al final de la prueba.

En este breve recorrido sobre el panorama de la investigación actual, se hace evidente que la experimentación constituye un mecanismo fundamental para el aprendizaje, especialmente en cómo los niños interactúan con sistemas y tareas para obtener información. Cook et al. (2011) plantean la importancia de entender el origen y desarrollo de la experimentación antes de evaluar su efectividad en diferentes contextos. Específicamente, abordan la pregunta: "¿cómo se debe

elegir una acción, si el objetivo es aprender cómo funciona un sistema causal?" (p. 342). Su investigación, basada en un modelo probabilístico, examina estrategias (exploración, explotación de trade-offs y toma de decisiones) bajo incertidumbre. Estas estrategias buscan maximizar la obtención de información y reducir la incertidumbre mientras se exploran relaciones causales. Este proceso involucra diversas habilidades y estrategias adaptadas al problema específico (control de variables, generación de hipótesis, entre otras; Zimmerman, 2005).

Por lo tanto, y considerando lo expuesto en párrafos anteriores, esta dinámica sugiere un proceso paralelo o integrado de aprendizaje y transferencia, estableciendo una relación entre estos conceptos, la incertidumbre y la experimentación que vale la pena explorar a mayor profundidad. De esta manera, hemos definido el problema de nuestro trabajo en la siguiente pregunta: *¿Cómo se transfiere la estrategia de Control de Variables (ECV) en niños de 5 a 9 años cuando se enfrentan a tareas de experimentación con dos condiciones de incertidumbre?*

Por consiguiente, prevemos los siguientes resultados:

- **Hipótesis 1:** Los participantes expuestos a la condición de IV mostrarán una transferencia de la ECV caracterizada por un proceso de ensamblaje blando (*soft-assembly*) más flexible y adaptable en comparación con los niños de ID. Estos participantes de IV mostrarán una mayor adaptabilidad en la transferencia de la ECV entre tareas virtuales y físicas, evidenciando un proceso dinámico de ajuste y autoorganización en sus estrategias experimentales. Esta diferencia se reflejará en un mayor uso efectivo de la ECV (ver figura 2, nivel 4) durante la tarea física final, así como en una variabilidad intraindividual mayor durante las sesiones iniciales, asociada a la exploración activa mediada por la incertidumbre (mayores picos y valles en la codificación).

- **Hipótesis 2:** Tanto en la condición ID como en la IV, los participantes que muestren una frecuencia mayor de uso de la ECV tenderán también a tener un mejor desempeño en cuanto al razonamiento causal o explicación de esta, al estar posiblemente correlacionados.

Operacionalización del problema

Para analizar la transferencia de la ECV desde una perspectiva de sistemas dinámicos, el desempeño de los niños se operacionalizó a través de los siguientes dominios e indicadores basados en los conceptos de *Uso Robusto de ECV* (de ahora en adelante, Explicación de ECV) y *Uso de ECV* (comparaciones en la manipulación de variables) de Klahr y Chen (1999):¹

Figura 1.

Tabla de Explicaciones de la ECV

Dominio 1: Explicaciones de la ECV		
Representa la formalización verbal de la lógica de control de variables, codificada del 0 al 4.		
Nivel	Indicador	Ejemplos
4	Explicaciones que incluyen variar una cosa a la vez y mantener las demás constantes.	(Carro trampa) Cambié las ruedas de delante porque estaban muy grandes y creo que necesita unas pequeñas.
3	Explicaciones que incluyen el control de algunas, pero no todas las variables relevantes.	Puse una rueda pequeña y una mediana (engranaje) al lado de la

¹ Ver secciones *Recolección de datos* y *Plan de análisis* para más información.

		rueda más grande para que vayan más rápido.
2	Explicaciones que mencionan una comparación con factores de confusión dentro de una variable	pesa 43kg porque este está en el 4 y este en el 3 (posición - Equilibrio)
1	Explicaciones asociadas a situaciones externas para la ECV.	Utilicé el clip porque me recuerda a un personaje que me gusta mucho (Catapulta).
0	No respuesta.	No sé.

Figura 2.

Tabla del Uso de la ECV

Dominio 2: Uso de la ECV		
Representa la capacidad técnica del niño para realizar manipulaciones de la tarea. Se codifica en niveles del 0 al 4, donde el Nivel 4 constituye un estado atractor de control total (variar una sola cosa a la vez) y los niveles inferiores representan estados de exploración rudimentaria o comparaciones con factores de confusión.		
Nivel	Indicador	Ejemplos
4	Comparaciones que difieren solo en la variable focal manteniendo constantes todas las demás variables.	Varia solo el tamaño de las ruedas para probar si estas le permiten recorrer mayor distancia.
3	Comparaciones no contrastantes, en las que la variable focal no se varió y una o más variables se variaron	Mide el efecto de dos engranajes al tiempo, en relación con la velocidad del engranaje target.
2	Comparaciones con factores de confusión, en las que tanto la variable focal como una o más variables se variaron	Cambia el peso y la posición de los objetos a un lado de la

		balanza para intentar equilibrarla.
1	Realiza acciones rudimentarias del efecto de un cambio en el sistema más no realiza ninguna comparación	Cambia el objeto anterior (stick notes) por un clip, mientras cambia la posición de la Catapulta y la fuerza con la que lanza el objeto. Nivel 0: No realiza el intento.
0	No manipula ninguna variable	

La incertidumbre se operacionalizó mediante actividades de invención, basadas en los trabajos de Lamnina y Chase (2019) y Schwartz (2011). En estas situaciones de incertidumbre — donde no se conocen los conceptos físicos ni cómo aplicar la ECV— se incorpora una actividad de invención que guía la exploración del niño. Debido a que nuestro interés se centra en la transferencia de la ECV, la actividad de invención tuvo el propósito de guiar al niño para que descubra por sí mismo la importancia de las variables de los conceptos físicos involucrados en las tareas. El niño «inventó» a través de dibujos, los objetos más relevantes de cada tarea para identificar las características (variables) más relevantes. A medida que los grupos concebidos avanzaron en las tareas, se midieron el número de elementos clave que utilizaron (manipulación de las variables independientes) y su entendimiento de las mismas, a través de un registro multimodal de sus movimientos y verbalizaciones clave (ver *Recolección de datos*).

Asimismo, desde la perspectiva de los sistemas dinámicos complejos (Guevara et al., 2020; Van Geert, 1994, Kunnen, 2012), analizamos el constructo de la *variabilidad intraindividual*, que se refiere a las oscilaciones en el rendimiento entre sesiones y es un indicativo de exploración y ajuste (Thelen y Smith, 1994). Este constructo nos permite explicar

la emergencia y la transferencia dinámica de la ECV. También nos apoyamos teóricamente en los conceptos de *adaptabilidad* y *autoorganización* para complementar la discusión y el análisis de los resultados.

Preguntas de investigación

- ¿Cómo emerge y se ajusta la implementación de la ECV en niños de 5 a 9 años durante la transición de tareas virtuales a físicas, bajo condiciones de incertidumbre?
- En qué medida la condición IV favorece la emergencia de estrategias autoorganizadas de ECV, comparada con ID, en términos de:
 - a) Frecuencia de Uso y Explicación de ECV en niveles altos en tareas físicas (transferencia remota).
 - b) Variabilidad intraindividual a lo largo de las sesiones.

Objetivos

General

Analizar el proceso de transferencia de la ECV en niños de 5 a 9 años, examinando sus trayectorias de desempeño y su capacidad de adaptación al resolver tareas de experimentación bajo distintas condiciones de incertidumbre.

Específicos

- Comparar el efecto de la actividad de invención frente a la instrucción directa en el Uso y Explicación de la ECV durante la resolución de problemas.

- Describir las trayectorias de variabilidad intraindividual en la aplicación de la ECV, asociados a la exploración activa mediada por las condiciones de incertidumbre.
- Evaluar la transferencia de la ECV desde entornos virtuales hacia tareas físicas tangibles, analizando la flexibilidad del niño para ajustar su lógica de control ante los nuevos requerimientos y posibilidades de acción de los materiales.

Justificación

La revisión de la literatura sobre experimentación temprana y transferencia revela dos aspectos cruciales que requieren investigación. En primer lugar, desde el trabajo de Klahr y Chen (1999), se requiere una comprobación empírica actualizada con perspectiva microgenética sobre cómo los niños de entre 5 y 9 años implementan estrategias de experimentación ante situaciones que requieren una solución. En segundo lugar, es necesario examinar los factores que predicen la transferencia de las habilidades de experimentación, como la *incertidumbre* y la *invención*, ya que tanto la transferencia de conocimientos como la disposición a experimentar en los niños responden mejor, en algunos casos, a contenidos con cierto grado de incertidumbre (Cook et al., 2012; Köksal-Tuncer y Sodian, 2018; Lamnina y Chase, 2020, Schwartz et al., 2011).

Además, estudios previos sobre transferencia de ECV (Klahr & Chen, 1999; Schwartz et al., 2011) se han centrado en mediciones estáticas (presencia o ausencia de la estrategia), omitiendo el análisis de procesos dinámicos como la variabilidad intraindividual o la autoorganización. Este trabajo pretende contribuir a ese vacío al integrar el marco teórico de sistemas dinámicos (Guevara et al., 2020), permitiendo observar no solo si los niños transfieren la ECV, sino cómo lo hacen a través de ajustes iterativos en las tareas. De esta manera, anticipa contribuciones valiosas tanto para la literatura sobre experimentación en niños como para el

estudio de la transferencia como proceso dinámico. Del mismo modo, los resultados de este estudio aportan pruebas que pueden aplicarse al diseño de entornos educativos que fomenten la experimentación activa en los niños. Por ejemplo, mediante actividades de invención que promueven la adaptabilidad estratégica, los docentes podrían incorporar actividades de exploración guiada antes o en combinación con instrucciones, lo que optimizaría la transferencia de habilidades científicas en las aulas de primaria.

Alcances y limitaciones

En este estudio experimental, nuestro marco conceptual ayuda a entender cómo puede emerger la transferencia en los niños durante la resolución de problemas experimentales, pero no pretende explicar por completo los procesos cognitivos de experimentación y transferencia en los niños. Más bien, nos centramos en explorar la relación entre la transferencia en sistemas dinámicos complejos y las estrategias de experimentación, teniendo en cuenta factores facilitadores como la incertidumbre. El estudio aporta pruebas empíricas sobre la transferencia de la ECV desde una perspectiva de sistemas dinámicos complejos. Esto implica analizar no solo la presencia o ausencia de la estrategia, sino también su implementación como proceso adaptativo, teniendo en cuenta la variabilidad intraindividual y el ajuste contextual. Además, se examina el papel de la incertidumbre como facilitador de la exploración activa, un aspecto poco estudiado en niños de 5 a 9 años. También demuestra que es posible integrar tareas virtuales y físicas en diseños microgenéticos y ofrece un modelo replicable para futuros estudios sobre la transferencia de habilidades científicas.

Sin embargo, reconocemos las limitaciones inherentes a este estudio experimental. La muestra es relativamente pequeña y está circunscrita a una zona urbana con condiciones

socioeconómicas similares, lo que restringe la generalización a poblaciones rurales, de condiciones socioeconómicas diferentes o con acceso limitado a recursos tecnológicos. Asimismo, el uso de software virtual (simulaciones) presupone que los participantes poseen habilidades digitales básicas, una condición que podría no ser uniforme en la muestra poblacional que, de hecho, varió enormemente entre los niños participantes de este estudio.

Capítulo 2

Revisión de literatura

Este capítulo tiene como objetivo establecer el marco conceptual y empírico que sustenta la investigación sobre la transferencia de la ECV en situaciones de incertidumbre. Se inicia con una profundización en los constructos centrales, el razonamiento científico y la experimentación, con un énfasis particular en la descripción de la ECV como habilidad procedimental.

Posteriormente, se abordan las condiciones experimentales del estudio, analizando la Instrucción Directa y el papel de la incertidumbre y la invención como factores que modulan el proceso de aprendizaje y transferencia. Finalmente, se revisan las teorías de la transferencia de conocimiento, contrastando el enfoque del razonamiento analógico con la perspectiva de los sistemas dinámicos complejos (TSDC), que provee el marco metateórico para el análisis del cambio microgenético, la autoorganización y la variabilidad intraindividual en la adquisición de la ECV.

Razonamiento científico y experimentación

El razonamiento científico (RC) se define a partir de una taxonomía cognitiva que integra procesos cognitivos, prácticas de investigación y tipos de conocimiento, tanto de dominio específico como general. Bajo el marco del modelo de Descubrimiento Científico como Búsqueda Dual (Klahr & Zimmerman, 2019), esta capacidad se organiza en tres pilares fundamentales: la búsqueda en el espacio de hipótesis, la búsqueda en el espacio de experimentos y la evaluación de la evidencia. De acuerdo con Klahr y Zimmerman (2019), estos componentes se traducen en habilidades procedimentales críticas que incluyen la formulación y

refinamiento de hipótesis mediante el planteamiento de preguntas y el desarrollo de modelos; la ejecución de investigaciones apoyadas en la ECV para garantizar la validez experimental; y el análisis e interpretación de datos para la elaboración de explicaciones lógicas.

Para comprender la complejidad de esta capacidad, es preciso reconocer que el análisis empírico del RC ha evolucionado desde una perspectiva lógico-formal a un análisis rigurosamente funcional-computacional, centrado en desentrañar la arquitectura mental que permite la indagación. Estos estudios revelan que el RC no es una competencia monolítica, sino una compleja orquestación de procesos mentales (Klahr & Dunbar 1988; Köksal-Tuncer & Sodian, 2018). A nivel de función cognitiva, se ha demostrado una asincronía en el desarrollo (Morris et al., 2012), indicando que la capacidad de evaluar evidencia precede ontogenéticamente a la de generar experimentos, y una modularidad funcional que produce perfiles disociados como los teóricos y experimentadores (Schlatter et al., 2021).

Otros autores definen el RC simplemente como "la aplicación de métodos científicos de investigación a situaciones de razonamiento" (Piekeny & Maehler, 2013; p. 153). Estos métodos involucran la comprensión conceptual y una serie de habilidades: experimentación, evaluación de evidencia, inferencia, argumentación (Zimmerman, 2005), creación de hipótesis y formación de predicciones (Klahr & Dunbar, 1988; Schlatter et al. 2021; Willemsen et al., 2023). De estas habilidades, este trabajo se enfoca particularmente en la experimentación, la cual, como describen Willemsen et al. (2023), es "el proceso de llevar a cabo una investigación sin factores de confusión en la que se estudia una variable a la vez para obtener conclusiones válidas" (p. 2).

Tradicionalmente, trabajos como el de Tschirgi (1980) conciben esta descripción conceptual como la demostración de cuando los sujetos deben evitar un resultado indeseable o negativo, tienden a manipular una variable mientras mantienen las otras constantes. Esto genera

ciertas estrategias de experimentación, como la estrategia VOTAT o la ECV de Klahr y Chen (1999), las cuales serían funcionalmente similares según Zimmerman (2005) y están más relacionadas con los experimentos sin factores de confusión.

Descripción de la ECV

El dominio pleno de la ECV se fundamenta en el desarrollo de dos habilidades constituyentes de la experimentación: la comprensión de la indeterminación de la evidencia y el reconocimiento de los factores de confusión (Peteranderl & Edelsbrunner, 2020). Desde la perspectiva de Klahr y Chen (1999), en los aspectos lógicos de la ECV, debemos centrarnos más en la capacidad de producir inferencias sobre experimentos con factores no confusos (es decir, conocer el efecto directo de una variable), que contrasta con la indeterminación inherente a los experimentos con factores confusos, en los que una variable puede distorsionar el efecto de otra, lo que daría lugar a resultados ambiguos y difíciles de interpretar.

Desde el punto de vista procedimental, Zimmerman (2005) afirma que la ECV es un método para crear experimentos en los que se realiza un contraste único entre las condiciones experimentales. Precisamente la estrategia completa no solo implica crear dichos contrastes, sino también ser capaz de distinguir entre experimentos confusos y no confusos, como se explicó anteriormente. En resumen, la ECV constituye una técnica fundamental en la experimentación científica que consiste en mantener constantes todos los niveles de las variables, excepto aquel que se encuentra bajo investigación.

Autores como Peteranderl y Edelsbrunner (2020) explican cómo esta competencia, que presentan un desarrollo significativo entre los 9 y 11 años, se vinculan estrechamente con actividades mediadas por la incertidumbre y el descubrimiento; específicamente, el manejo de la

indeterminación requiere un razonamiento deductivo para relacionar resultados con variables clave, mientras que la superación de factores de confusión demanda un pensamiento inductivo que permite a los sujetos seleccionar niveles u operaciones de las variables para generar nuevos conocimientos y resolver problemas complejos.

Un buen ejemplo de esto son los experimentos realizados por Zimmerman y Glaser (2001). En su trabajo, analizaron que cuando a un estudiante se le pide que compruebe la afirmación "el agua de la llave es mala para las plantas", al ser una proposición negativa, se inclinará por controlar la variable independiente, es decir, el tipo de agua (79% de los casos). Esto encadena una acción en la que el sujeto realiza cambios solo en dicha variable (por ejemplo, rociar agua de la llave, de río, de piscina, etc.) para probar directamente la veracidad de la afirmación.

En cambio, cuando se les pide a otros estudiantes que comprueben la afirmación "los granos de café son buenos para las plantas", que es una afirmación positiva, estos optan por la estrategia HOTAT (mantener una cosa a la vez y variar las demás). Básicamente, los sujetos mantienen la variable granos de café constante y cambian otras como el tipo de plantas, intentando probar la veracidad de la afirmación. Lo que esto sugiere es que las habilidades de experimentación —que luego derivan en estrategias aplicadas al problema— "están influenciadas por factores situacionales, en este caso, que los resultados puedan ser interpretados como negativos o positivos" (Zimmerman, 2005, p. 18).

No obstante, el diseño experimental realizado por los niños fundamentado en la ECV está profundamente ligado al tipo de tarea pedagógica, avivando el debate entre si la ECV se adquiere o se descubre. Mientras que la Instrucción Directa (ID), defendida por Klahr y Nigam (2004), logra una adquisición procedimental rápida, facilitando la ejecución inmediata de la regla de

control de variables y la transferencia cercana, corre el riesgo de generar conocimiento inerte y poca comprensión del porqué de su funcionamiento, donde los niños saben cómo ejecutar la ECV cuando se les pide, pero no por qué es esencial o no logran activarla espontáneamente en contextos no estructurados (Klahr & Nigam, 2004).

En contraste, las tareas de exploración o indagación guiada impulsan el descubrimiento conceptual de la estrategia, al someter a los estudiantes a un ‘fracaso productivo’ que les obliga a valorar la necesidad lógica de la ECV (Dean & Kuhn, 2007), resultando en una mejor retención y una mayor capacidad de transferencia lejana (Kapur, 2016). Por lo tanto, creemos que la ECV se establece como una herramienta que se puede adquirir más rápido en su formación técnica, pero cuya comprensión profunda y flexibilidad para el razonamiento científico es descubierta y consolidada a través de la práctica y el conflicto mediado por la incertidumbre.

Asimismo, considerando que la experimentación es un proceso de investigación en el que el sujeto puede medir, probar o controlar ciertas variables, para referirse a las acciones que el propio sujeto puede percibir en el sistema o la tarea, existe otro concepto proveniente de la teoría de la percepción de Gibson (2014) que las define: las «posibilidades de acción» (affordances, en inglés). Estas percepciones que posibilitan acciones son lo que el entorno le ofrece o posibilita al individuo, es decir, una percepción directa del valor o significado que yace en lo material, pero siempre en referencia al observador. Por ejemplo, una silla ofrece a una persona la posibilidad de sentarse y una rama puede usarse para alcanzar un objeto o para rascarse. El ambiente y el contexto (que Gibson denomina «nicho») influyen claramente en la percepción del valor de las cosas.

Por lo tanto, si nuestro interés es investigar la experimentación en una tarea mediada por la incertidumbre, vale la pena explorar la relación individuo-entorno para formular esas posibilidades de acción que el ambiente le ofrece al niño en materia de experimentación.

Condición experimental: La Instrucción Directa

En primer lugar, retomando el estudio de Klahr y Chen (1999), los autores investigaron si niños de segundo a cuarto grado (7-10 años) podían aprender y transferir la ECV bajo diferentes condiciones instruccionales: cuando reciben entrenamiento, sondeo y explicación de la estrategia; cuando solo reciben sondeo (comprobación mediante preguntas como “¿por qué diseñaste así la prueba?”) y cuando no reciben entrenamiento ni sondeo (grupo control). El estudio examinó el desempeño de la *ECV* a través de tres tareas de física: Resortes, Pendientes y Hundimiento. Posteriormente, siete meses después, evaluaron la transferencia mediante razonamiento analógico para determinar si la estrategia se aplicaba en tareas similares.

Los resultados mostraron que los niños de tercer y cuarto grado que participaron activamente en exploración, entrenamiento y sondeo demostraron mejor uso de la ECV en las fases de prueba y transferencia, comparados con los grupos control y de solo sondeo. Estos hallazgos, junto con estudios recientes sobre experimentos espontáneos en niños (Cook et al., 2011), sugieren que la participación activa en la adquisición de estrategias de razonamiento científico como la ECV, combinada con exploración del entorno, entrenamiento adecuado y reflexión sobre el aprendizaje, favorece la comprensión profunda de habilidades y conocimientos, así como su transferencia a nuevos contextos.

Igualmente, el estudio seminal de Dean y Kuhn (2007) representa un avance significativo en la comprensión de la durabilidad y la transferencia de la ECV en la adquisición de

razonamiento científico, siguiendo la línea de investigación establecida por Klahr y Chen (1999). Específicamente, este trabajo utilizó un diseño de transferencia analógica que involucró simulaciones computarizadas (*Earthquake Forecaster* como tarea fuente y *Ocean Voyage* como tarea objetivo) para medir la persistencia del conocimiento a lo largo de 17 semanas. Los resultados del estudio revelaron el denominado "efecto durmiente" (*Sleeper Effect*), que indica que el rendimiento superior e inmediato de la Instrucción Directa (ID) disminuyó notablemente a los tres meses. Por el contrario, el grupo que se sometió a una práctica de descubrimiento, con un mayor esfuerzo cognitivo en la indagación, mostró un desempeño comparable o incluso superior en la transferencia. Esta evidencia sugiere que la consolidación a través de la práctica sostenida es indispensable para que los estudiantes logren abstraer la estructura lógica profunda de la ECV, desvinculándola de los detalles superficiales del dominio (Dean & Kuhn, 2007).

Condición experimental: La incertidumbre

Es importante examinar otro concepto que la literatura relaciona con la experimentación y la transferencia: la *incertidumbre*. La incertidumbre se manifiesta como una falta de predictibilidad del futuro en el ambiente, dado que nuestras creencias y representaciones del mundo podrían ser imprecisas (Mushtaq et al. 2011), así como la conciencia de una falta de entendimiento, conocimiento, información (Anderson et al. 2019) o que esta sea contradictoria o nueva (Oransanu & Connolly, 1993 como se citó en Lamnina & Chase 2021). También está vinculada con la ambigüedad (Alison et al. 2015; Cook et al., 2011; Lamnina & Chase, 2021).

Levy y Schiller (2023) identifican tres tipos de incertidumbre que pueden revelar mecanismos latentes: riesgo, ambigüedad y volatilidad. El riesgo surge cuando las probabilidades de un resultado potencial son conocidas y se toman decisiones entre prospectivas

y apuestas, buscando una ganancia ciertamente positiva o una pérdida meramente probable (Kahneman & Tversky, 1979). La ambigüedad aparece cuando estas probabilidades no son conocidas con precisión (Ellsberg, 1961). La volatilidad ocurre cuando hay cambios en la estructura probabilística del ambiente (Topel et al., 2023).

Esta constituye una característica esencial del ambiente (Levy & Schiller, 2023), mas debe diferenciarse de la incertidumbre psicológica. La *incertidumbre ambiental* se refiere específicamente a la ausencia de información pertinente en situaciones contextuales, mientras que la psicológica es el sentimiento o conciencia de que hay incertidumbre (Lamina & Chase, 2021). Por ejemplo, en la investigación de Lamnina y Chase (2021), se manipuló la incertidumbre ambiental para influir en la incertidumbre psicológica percibida por el sujeto, variando el nivel de ambigüedad en tareas instruccionales. Es decir, mientras una surge en el contexto o la situación, la otra se refiere a cómo atraviesa la experiencia del sujeto.

Asimismo, en la investigación se debe distinguir entre *incertidumbre endógena* y *exógena*. La endógena se relaciona con el problema del ambiente, mientras que la exógena se vincula con el sistema operativo que genera las decisiones para responder a ese ambiente (Alison et al., 2015; Lipshitz & Strauss, 1997). La *incertidumbre endógena* puede originarse por factores como la presión temporal, información ambigua y riesgo (Oransanu & Connolly, 1993 como se citó en Alison et al. 2015). Este tipo surge directamente del problema ambiental y es difícil de manejar por su complejidad y contradicción. La escasez de información complica la resolución de problemas de naturaleza dinámica o altamente variables, lo que lleva al sujeto a desarrollar mecanismos para reducirla (Fiore et al. 2010).

La *incertidumbre exógena*, por su parte, emerge de situaciones relacionadas con malentendidos de roles o responsabilidades, problemas de autoeficacia y expectativas erróneas

sobre el comportamiento propio o ajeno (Alison et al., 2015). Aunque ambos tipos pueden afectar la toma de decisiones (Alison et al., 2015), la endógena puede estar más fácilmente bajo control mental (Levy & Schiller, 2023) y puede modificarse según el planteamiento del problema.

Desde una perspectiva neuropsicológica, el cerebro busca reducir la incertidumbre apoyándose en recuerdos de situaciones pasadas, como indican Bornstein et al. (2023). Otros estudios exploran esta relación con la incertidumbre desde la curiosidad, la creatividad y la exploración (Evans et al., 2022; Lamnina y Chase, 2019; 2020). Específicamente, investigaciones sobre cómo los niños enfrentan la incertidumbre en la experimentación sugieren que su interés y deseo de resolver un problema aumentan ante situaciones ambiguas (Cook et al., 2011) o con hipótesis causales falsas (Köksal-Tuncer & Sodian, 2018), activando su curiosidad al descubrir nueva información o refutar explicaciones incorrectas, tendiendo a aislar variables y a realizar acciones dirigidas a obtener más información, en situaciones de alta incertidumbre.

Lamina y Chase (2019) señalan que la incertidumbre “es una variable clave para fomentar la curiosidad, que, a su vez, está asociada con el aprendizaje” (p. 1). Esta curiosidad facilita el aprendizaje al permitir que el sujeto explore y comprenda mejor su entorno, es decir, que la curiosidad aumenta la construcción del conocimiento, como lo describen las autoras. De este artículo se resaltan también los resultados, que a pesar de discutir la fiabilidad de lo obtenido en cuanto a aprendizaje, encuentran que la condición de incertidumbre (ya sea esperada o inesperada) tiene efecto significativo en la transferencia de conocimiento de la relación de variables en dos ecuaciones físicas, hacia otros escenarios cotidianos similares que involucran cuestiones de relación y proporción entre dos elementos (Lamnina & Chase, 2019).

Las autoras señalan la necesidad de investigar el nivel óptimo de incertidumbre en el aprendizaje y la transferencia por resolución de problemas, considerando también el aspecto del afecto negativo. Teniendo en cuenta que su enfoque no fue microgenético, esto abre posibilidades para estudiar niveles adecuados de incertidumbre con la perspectiva de los Sistemas Dinámicos, y así observar la transferencia de estrategias del razonamiento científico a un nivel de cambio progresivo. Además, en el análisis concluyeron que la relación entre curiosidad y transferencia resultó ser espuria.

Transferencia bajo incertidumbre: la herramienta de la invención

En cuanto al aprendizaje, y particularmente la transferencia de habilidades, se sabe ahora que no depende únicamente de la adquisición de reglas procedimentales abstractas, sino también de la gestión productiva de la incertidumbre cognitiva (Lapidow et al., 2022). Esta incertidumbre funciona como una señal de error de predicción que, a su vez, desencadena la invención (Chase & Klahr, 2017). La invención, al obligar a los estudiantes a generar soluciones y enfrentar un ‘fracaso productivo’, crea una estructura conceptual profunda que es esencial para la transferencia.

En este contexto, es primordial definir conceptos como la exploración, que aparece como necesaria para comprobar algo que se desea conocer encaminado a un resultado específico (Stebbins, 2001). Algunos autores definen la exploración como un elemento vinculado a la *curiosidad*, que implica espacios para la investigación, análisis, evaluación de oportunidades, cuestionamiento de reglas y ofrecimiento de resistencias (Ødegaard, 2020; Sørensen & Birkeland, 2020). En los niños, esta exploración se manifiesta como juego exploratorio (Cook et al., 2011), así como "un proceso inductivo que requiere apertura y flexibilidad, creatividad e

imaginación, donde ellos están en la búsqueda de nuevas ideas o perspectivas" (Nilsson et al., 2018; Stebbins, 2001 como se citó en Skoglund, 2020, p. 31). La exploración es concebida dentro de la experimentación, entonces, como un concepto sistemático, amplio, intencionado y planificado que estudia relaciones entre fenómenos potencialmente vinculados, utilizando procesos principalmente inductivos—aunque con algunos aspectos deductivos (Stebbins, 2001).

En particular, para este proyecto es importante reconocer la incertidumbre endógena intrínseca, que es situacional y ambiental (Alison et al., 2015; Levy & Schiller, 2023). En ella se observan relaciones causales que determinan el origen de un efecto y permiten la experimentación para que el sujeto implemente estrategias y resuelva un problema dado, aunque estas relaciones no se hayan explicitado. Si bien diversos experimentos vinculan la incertidumbre con el aprendizaje y la transferencia (Lamnina y Chase, 2019; 2020), existe otra vía de exploración experimental dentro de la propia incertidumbre que tiene un efecto directo en la transferencia. Se trata de un concepto que puede observarse en el mundo real y que, a su vez, funciona como condición experimental para este estudio: la *invención*.

Por ejemplo, en un estudio, Cook et al. (2011) investigaron cómo los niños preescolares diseñan experimentos espontáneos durante el juego exploratorio para aprender relaciones causales. En dos experimentos, se manipuló la ambigüedad de la evidencia y las propiedades físicas de los estímulos (objetos que activaban una máquina). Los resultados mostraron que los niños priorizan acciones informativas (aislar variables) cuando hay incertidumbre, integrando conocimiento previo (tasas base) y posibilidades de acción (affordances) físicas. Esto sugiere que los preescolares aplican principios similares del diseño experimental en tiempo real al explorar las situaciones problema, maximizando la ganancia de información esperada.

Los estudios que sustentan la inclusión de las tareas de invención en el diseño instruccional postulan que la incertidumbre, estratégicamente mediada, constituye un catalizador para la reorganización cognitiva y la adquisición de conocimiento (Kapur, 2016; Manz, 2018; Schwartz & Martin, 2004). Esta perspectiva desafía los modelos tradicionales de instrucción directa al proponer que la falta de estructura inicial genera una preparación cognitiva óptima para el aprendizaje futuro. Específicamente, el proceso de invención obliga a los estudiantes a activar sus conocimientos previos y, de manera crítica, a desarrollar una conciencia aguda de sus brechas de conocimiento, lo que incrementa su receptividad y la asimilación de la instrucción subsiguiente (Kapur, 2016).

De igual forma, el diseño de estas tareas introduce una incertidumbre enfocada en la diferenciación explícita de características conceptuales profundas frente a las superficiales, otorgando mayor transferibilidad al esquema mental del aprendiz (Schwartz & Martin, 2004; Schwartz et al., 2011). De este modo, el proceso de invención está alineado con la naturaleza indagadora de la experimentación, donde la variabilidad y la incertidumbre son prerequisites para la emergencia de nuevas soluciones y comprensión (Manz, 2018).

En una mirada más profunda, Schwartz et al. (2011) en su investigación plantean que existen situaciones educativas donde es más beneficioso que el niño afronte primero un proceso de invención. En este proceso, se le presenta uno o varios problemas relacionados con un concepto para que intente generar una explicación ‘inventiva’ desde sus conocimientos, creencias o intuiciones, antes de recibir una explicación teórica y metodológica. Los autores sostienen que cuando el niño intenta comprender un problema *incierto* desde su conocimiento previo, independientemente de su precisión, desarrolla un entendimiento más profundo de las relaciones entre conceptos o variables —especialmente en problemas que involucran relaciones

de proporcionalidad como en física o matemáticas— y, por ende, obtiene mejores resultados en pruebas de transferencia (Schwartz et al., 2011, p. 5).

De manera similar, en la propuesta de trabajo de Lamnina y Chase (2019; 2021), las investigadoras midieron los efectos de la incertidumbre haciendo que los niños realicen una tarea de invención (crear una fórmula para problemas de física). Sus resultados también muestran una mayor transferencia en estos grupos, puesto que cuando los sujetos aplican una fórmula novedosa que genera expectativas sobre su predictibilidad, deben también ajustarla durante su aplicación (generando variaciones como en la ECV) mientras resuelven los problemas planteados. Así, una forma de operacionalizar la incertidumbre y sus efectos predictivos de transferencia es mediante escenarios que incorporen un proceso de generación creativa antes del enfrentamiento de un problema conceptual.

Finalmente, Lapidow y Walker (2024) ofrecen una reinterpretación de la transferencia, sugiriendo que las dificultades en el razonamiento científico formal (como en ECV) apuntan a ser un conflicto de objetivos donde el aprendiz prioriza la intuición causal de la utilidad (manipulación) sobre la información (conocimiento). Su trabajo indica que la clave para una transferencia robusta es alinear la tarea con estas intuiciones, enseñando a los estudiantes a reconocer el contexto epistémico necesario para suprimir la intuición de utilidad y activar la de indagación. Por lo tanto, el enfoque de invención antes de la instrucción (*Preparation for Future Learning - PFL*) es crucial, ya que provee la experiencia inicial de incertidumbre para que la instrucción formal posterior se recupere como una herramienta necesaria ante una necesidad procedimental ya identificada.

Transferencia y Sistemas Dinámicos

Dejando las condiciones experimentales de lado, es importante especificar el paradigma de transferencia en el que se basa este trabajo. Para empezar, Guevara et al. (2020) definen la transferencia cognitiva desde distintos enfoques. El primero, el razonamiento analógico —el más dominante en la literatura—, plantea que los sujetos resuelven problemas nuevos basándose en problemas relacionados conocidos, estableciendo dos «análogos»: base y objetivo (Gentner, 1983; Holyoak, 2012).

Por su parte, los enfoques situado y constructivista ofrecen una perspectiva más dinámica, donde el primero considera que el sujeto responde a las posibilidades de acción en la situación de aprendizaje el segundo sostiene que el aprendizaje mejora cuando el sujeto comprende, “más que cuando memoriza, abstrae el conocimiento, presta atención a elementos críticos y usa experiencias previas de aprendizaje” (Bransford et al., 1999; 2006, citados en Guevara et al., 2020, p. 3). Sin embargo, estos enfoques presentan limitaciones, ya que conciben el conocimiento de manera estática, ven el aprendizaje como un simple traspaso entre contextos, separan la transferencia del aprendizaje y solo evalúan la transferencia como la presencia o ausencia del conocimiento transferido, sin observar el proceso en tiempo real (Guevara et al., 2020).

Una forma de solventar esta carencia epistemológica es a través de la teoría de los sistemas dinámicos complejos (TSDC). Esta disciplina interdisciplinar estudia los cambios temporales en sistemas complejos y analiza cómo se desarrollan los procesos y cómo la interacción de los componentes genera patrones únicos (Dong, 2016). Se fundamenta en principios como la multicausalidad, la variabilidad, la autoorganización, la iteración y el soft-

assembly. Considera cambios macro (desarrollo del sujeto) y micro (funcionamiento cognitivo), mediados por el soft-assembly —proceso constante de interacción sujeto-contexto—. Este concepto explica cómo emergen las acciones del sujeto (cognitivas, motoras o sociales) durante la interacción con el contexto (Van Dijk, 2020).

A partir de esto, Guevara et al. (2020) proponen que "la transferencia surge como un proceso de soft-assembly que implica una adaptación o ajuste continuo del alumno para resolver un problema" (p.16). Esta visión introduce la multicausalidad, donde el sujeto puede realizar diferentes acciones durante su adaptación, influenciado por diversos aspectos como las estructuras de la tarea, las affordances (oportunidades de acción), la atención a elementos relevantes y la información utilizada. Esto genera variabilidad en las trayectorias de resolución —diferentes rutas de acción— indicando multicausalidad y resultando del proceso de soft-assembly, fundamental para el aprendizaje (Guevara et al., 2020).

Guevara et al. (2020), en el segundo estudio (p. 8) investigaron la transferencia del razonamiento científico a través de tareas sobre presión de aire. Examinaron si la transferencia emerge espontáneamente en un diseño repetido, bajo el enfoque de los sistemas dinámicos. Los participantes, organizados en parejas, seleccionaban elementos de la tarea y experimentaban en conjunto para alcanzar objetivos. Cada sesión terminaba con una tarea que se repetía al inicio de la siguiente, durante tres sesiones espaciadas por dos meses. Por ejemplo, si la primera sesión familiarizaba a los participantes con el experimento y la conexión de jeringas, la siguiente requería conectar otras jeringas con diferente tamaño para activar un mecanismo de elevación (brazo mecánico), adaptando lo aprendido del funcionamiento de mecanismos físicos a nuevas condiciones. Los resultados mostraron un incremento significativo en el rendimiento de los niños, en cuanto a su tasa de aciertos, que pasó del 20% al 83% en promedio.

También está la autoorganización, que describe cómo la interacción de componentes sistémicos genera un orden conjunto. Las variaciones en la interacción infantil emergen de la conexión dinámica entre variables endógenas y exógenas, como la complejidad de la tarea y el nivel de compromiso con compañeros y actividades (Guevara et al., 2020). Desde una perspectiva metateórica, los sistemas dinámicos explican el desarrollo como autoorganización (van Dijk, 2020). La iteración, por su parte, describe la evolución temporal del sistema, donde cada estado incorpora elementos del anterior (Guevara et al., 2020).

La TSDC nos ayuda a entender cómo es que se aprende realmente la ECV. En lugar de concebirla como una regla fija que los estudiantes tienen o no tienen, como sugieren autores como Piaget (1970), la TSDC la interpreta como una forma de pensar estable o un patrón preferido que surge con la práctica y se autoorganiza en la mente del estudiante (Thelen & Smith, 1994; Van Geert, 1991). Esta idea explica por qué los estudiantes son inconsistentes — por qué a veces aplican bien la ECV y otras veces no—, ya que esta variabilidad no se trata de un error, sino una señal de que el sistema mental está inestable justo antes de que el estudiante logre un cambio de estrategia permanente (Montes et al., 2017). La TSDC conceptualiza la ECV como un atractor de punto fijo que emerge dentro de las posibilidades de acción, el cual representa el estado más estable y eficiente para la inferencia causal (Van Geert, 1991). Desde esta perspectiva, la adquisición de la ECV es un proceso de autoorganización donde esta estrategia compite activamente con aplicaciones menos sofisticadas, como la tendencia a ‘cambiar todo’ o enfocarse en variables irrelevantes (Siegler, 2000).

Adicionalmente, Van Geert (2015) define a la transferencia como un estado emergente que debe ser reconstruido activamente en un contexto novedoso. Esta reconstrucción ocurre cuando el sistema cognitivo converge hacia un atractor en el nuevo entorno que es

funcionalmente isomorfo —es decir, similar en su dinámica de interacción— al patrón de solución aprendido inicialmente (Klahr y Chen, 2011; Van Geert, 2015). Una implicación pedagógica clave de este enfoque es que la práctica variable, que introduce intencionalmente diversidad y variabilidad contextual durante la fase de entrenamiento, es fundamental para la transferencia, ya que trabaja un estado atractor más amplio y robusto, capaz de capturar la conducta correcta a pesar de las perturbaciones inherentes al nuevo problema (Klahr y Chen, 2008, Van Geert, 2015).

El aprendizaje se produce cuando la experiencia intuitiva y/o la instrucción eficaz actúan como parámetros de control que aumentan la fuerza de atracción de la ECV, haciéndola más resistente a las perturbaciones. Por lo tanto, la variabilidad observada en el estudiante (al pasar de estados de aplicación y no aplicación) no se refiere a un mal uso de la estrategia, sino a un período de bistabilidad (Montes et al., 2017), una fase necesaria de inestabilidad en la que el sistema cognitivo oscila entre la forma antigua de proceder y la nueva estrategia de control, justo antes de que esta última se consolide como el modo de comportamiento preferido y dominante. En resumen, la TSDC es clave porque nos proporciona el marco para entender el proceso de desarrollo de la ECV, es decir, cómo pasa de ser una estrategia inestable a convertirse en la herramienta principal para hacer ciencia (Siegler, 2000).

Capítulo 3

Metodología

El presente capítulo detalla la aproximación metodológica empleada para alcanzar los objetivos de la investigación, enfocada en el análisis microgenético de la transferencia de la ECV bajo condiciones de incertidumbre. Se describen rigurosamente los aspectos clave del estudio, incluyendo las características de los participantes, el diseño experimental de medidas repetidas, los instrumentos de recolección de datos (tareas y condiciones experimentales), el procedimiento de aplicación, y el protocolo de recolección de datos, validación, rigor y organización de los datos. La metodología se fundamenta en un marco de sistemas dinámicos, utilizando un enfoque mixto (cuantitativo-cualitativo) para capturar la naturaleza adaptativa y la variabilidad intraindividual en la emergencia y ajuste de la ECV.

Participantes

La muestra inicial estuvo conformada por diez participantes ($n=10$), cinco niños y cinco niñas, de los cuales dos sujetos no completaron todas las tareas. Por lo tanto, la muestra final fue de ocho participantes ($n=8$; niños $n=5$ y niñas $n=3$) en un rango de edad desde 5 hasta 9 años ($\bar{x}=6,5$ años). Todos los sujetos son estudiantes de una escuela primaria pública entre los grados 1° y 2° ubicada en una zona urbana en la ciudad de Cali, Colombia, con barrios y viviendas entre los estratos socioeconómicos 2 y 3. La muestra fue seleccionada por conveniencia y dada por los profesores de la institución y los acudientes firmantes. Luego fueron distribuidos equitativamente por edad y género en dos condiciones: condición *instrucción directa (ID)* y condición *invención*

(IV). La muestra buscó garantizar viabilidad en el análisis microgenético (4 sesiones por niño), priorizando profundidad sobre generalización.

Protocolo ético

Como parte del protocolo ético, se pidió a los padres o tutores que firmaran el consentimiento informado (ver anexo), donde se detallaban los objetivos, los métodos y la confidencialidad, así como el derecho de los niños a retirarse en cualquier momento sin que ello tuviera ninguna consecuencia. A los niños se les proporcionó un documento de asentimiento informado para validar su participación, en el que se les brindaba información general sobre la actividad y la confidencialidad en el uso de la información recolectada. Este protocolo está relacionado directamente con la protección de datos, en cumplimiento de la Ley 1581 de 2012 (protección de datos personales en Colombia).

Diseño

La investigación utilizó un diseño microgenético de medidas repetidas con un análisis mixto (cuantitativo y cualitativo) de comparación intra e intercondicional, que comprende cuatro tareas de experimentación en el campo de la física. El esquema de aplicación se ilustra en la Figura 3. Para fortalecer el análisis mediante múltiples mediciones temporales, se realizó una tarea por sesión diaria. El período de aplicación de las tres tareas virtuales abarcó tres sesiones distribuidas a lo largo de una semana (con dos días de separación entre la sesión 1 y la 2, y tres días entre la 2 y la 3), mientras que la cuarta tarea se realizó ocho días después.

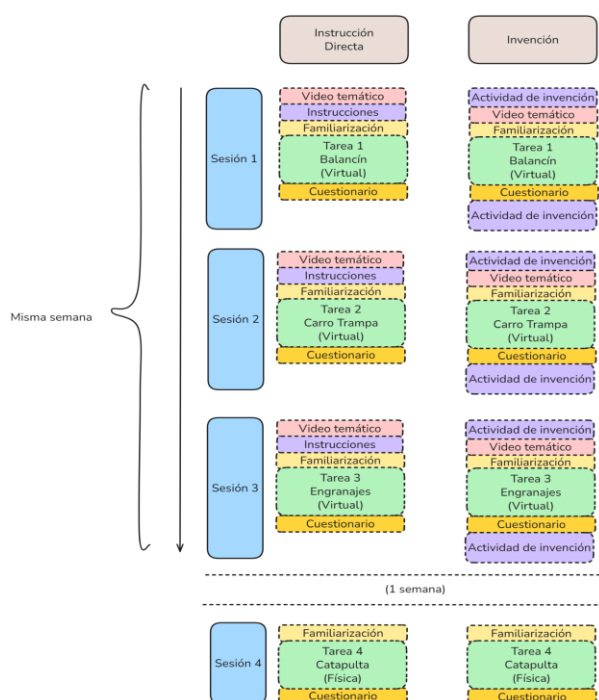
Dado que las tareas provienen del campo de la física e involucran la interacción de múltiples variables, se implementaron dos métodos de registro: la grabación de pantalla y la

captura por cámara web de los movimientos de los participantes. Este diseño permitió rastrear la ECV temporalmente, conceptualizando su transferencia como un proceso continuo de ajuste frente a problemas de estructura similar. Además, facilitó el seguimiento de la variabilidad intrasujeto y la evaluación del efecto del tratamiento en ambas condiciones.

Es importante señalar que la inclusión de una cuarta sesión con contexto distinto de "transferencia" (tarea en físico) responde al propósito de incorporar un análisis tradicional de transferencia analógica y evaluar la permanencia temporal de las estrategias aprendidas, similar al enfoque de Klahr y Chen (1999). Sin embargo, como se ha establecido en la revisión de literatura, la transferencia constituye un proceso de Soft Assembly que se desarrolla desde la primera sesión, y su análisis abarca todo el diseño microgenético. El esquema del diseño se presenta a continuación.

Figura 3.

Diseño esquemático del diseño microgenético (elaboración propia).



Se utilizaron cuatro tareas de problemas físicos: *Ley de Equilibrio* (concepto de equilibrio), *Carro Trampa* (movimiento de inercia), *Tarea de Engranajes* (transmisión de movimiento) y *Catapulta* (movimiento parabólico). Tres tareas se presentaron en formato virtual (que requieren monitor, ratón y teclado) y una con materiales físicos manipulables. En todas ellas se pudieron aplicar estrategias de experimentación. Cada tarea comenzó con una fase de familiarización donde se explicaron sus componentes y objetivos. La tarea física de la cuarta sesión correspondió a un escenario estructuralmente remoto de transferencia, con perspectivas tanto analógicas como microgenéticas. Las tareas virtuales fueron interactivas y permitieron que los niños manipularan elementos clave para aislar y controlar variables, facilitando la medición de la ECV. A través de estas tareas, pudimos observar la emergencia temporal de estas estrategias y su transferencia como proceso dinámico, tanto en escenarios estructuralmente similares como remotos.

La elección de cuatro sesiones, distribuidas entre tareas virtuales y físicas, se fundamentó en investigaciones previas. Triona y Klahr (2003) mostraron que tanto el entrenamiento virtual como físico en ECV producen ganancias similares en el aprendizaje para diseñar experimentos. Posteriormente, Klahr y Williams (2007) estudiaron tres grupos experimentales en la tarea del carro trampa: dos grupos con tarea virtual (uno con seis pruebas predeterminadas y otro con pruebas libres durante 20 minutos) y uno con tarea física. Los resultados mostraron una mejoría similar en todos los grupos respecto a la comprensión de relaciones causales, pues todos debían controlar variables para determinar qué componentes aumentaban la distancia de desplazamiento del carro.

Otros estudios respaldan la equivalencia entre condiciones virtuales y físicas. Justo et al. (2022) encontraron éxito similar en el aprendizaje de conceptos básicos de ingeniería —aunque

con mayor motivación en la condición física. Rose et al. (2000) compararon tres tipos de entrenamiento (virtual, mundo real y sin entrenamiento) en una tarea sensoriomotora. Los grupos con entrenamiento virtual y físico mostraron resultados similares, superando al grupo sin entrenamiento. En experimentos posteriores con tareas concurrentes (motoras, cognitivas y atencionales), el entrenamiento virtual resultó equivalente o superior al físico. Como excepción, Whitmer et al. (2019) hallaron que en una tarea de navegación con cubo en laberinto, quienes se entrenaron en realidad virtual completaron la tarea física más rápidamente que los grupos de simulación física y sin entrenamiento.

En resumen, las pruebas sugieren que las tareas virtuales y físicas son equivalentes para el análisis de ECV, ya que permiten observar la progresión dinámica de la transferencia con resultados similares. Optamos por las tareas virtuales principalmente por su facilidad de implementación y reproducción, a pesar de que reconocemos que podrían motivar menos (Justo et al., 2022). No obstante, dado lo obtenido en los resultados de Guevara et al. (2020), quienes reconocen el valor de la retroalimentación en tiempo real que ofrecen las tareas físicas, se puso a prueba la homogeneidad entre las tareas virtuales y físicas en la sección de discusión y conclusiones, respondiendo a uno de los objetivos de este trabajo.

Tareas

Familiarización

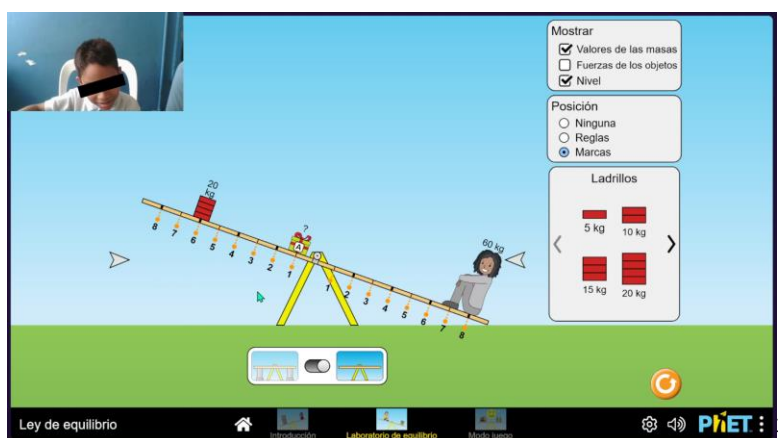
Consistió en una fase de exploración de los materiales, durante la cual los participantes identificaron los elementos clave (variables). Esta fase duró entre tres y cinco minutos por tarea, dependiendo del grado de familiaridad con los componentes por parte de los participantes.

Tarea 1 (virtual). *Ley de Equilibrio*.

La tarea presenta una simulación de un balancín donde los participantes deben equilibrar ambos lados de la plataforma. Los niños pueden manipular el número de objetos, su peso y su posición relativa al centro. Los escenarios variaron e incluyeron situaciones preestablecidas donde el balancín se encontraba o bien desnivelado, presentaba objetos con peso incierto, o una combinación de ambos, y el participante debía encontrar la combinación correcta de peso y posición para restablecer el equilibrio o determinar correctamente los pesos

Figura 4.

*Ejemplo de realización de la tarea Ley de Equilibrio.*²



Tarea 2 (virtual). *Carro trampa*.

Esta versión virtual de la tarea del *carro trampa* requería que los participantes construyeran un vehículo con piezas específicas para investigar cómo los componentes afectan su rendimiento en la pista y maximizar o minimizar su desplazamiento, dependiendo del

² Nota. Tarea diseñada por PhET Interactive Simulations ©. Disponible en <https://phet.colorado.edu/es/simulations/balancing-act>

³ Nota. Las caras de los menores han sido censuradas con barras para proteger su identidad.

problema (Ordoñez, 2020; Valencia, 2014). El software cuenta con dos paneles: uno para previsualizar el carro en construcción y otro para seleccionar las piezas disponibles. Las variables modificables incluían: tipo de cuerpo (pequeño, mediano y grande), llantas traseras y delanteras (pequeñas, medianas y grandes), diámetro del eje (delgado y grueso) y material del piso (liso y rugoso).

Figura 5.

Ejemplo de realización de la tarea Carro Trampa.



Tarea 3 (virtual). Tarea de engranajes.

Esta tarea aborda los elementos de causalidad de manera más abstracta, mediante una interfaz simple sin un escenario virtual específico (Ordoñez, 2025). La Tarea de Engranajes presentaba problemas de cadenas articuladas donde se estudia su movimiento. Los participantes debían predecir, mediante inferencias y la aplicación de la ECV, el comportamiento del sistema de engranajes al manipular el movimiento, posición y diámetro de las ruedas del sistema y observar cómo se transfiere movimiento dentro de todo el sistema.

Figura 6.

Ejemplo de realización de la tarea Engranajes.



Tarea 4 (física). Catapulta.

Consistía en una catapulta de madera a pequeña escala que utiliza un mecanismo de palanca y punto de apoyo (Ordoñez, 2003). Los participantes podían manipular el tipo de objeto, peso, densidad y material para estudiar cómo estas variables afectan el desplazamiento y la posición final del objeto lanzado. Los problemas consistían en pedirle al participante que alcanzara una posición determinada sobre el eje X (en el suelo) o sobre el eje Y (en una pared).

Figura 7.

Ejemplo de realización de la tarea Catapulta.



Condición de *invención* (IV)

Esta condición varió según la tarea de la sesión. Mediante una instrucción verbal, se solicitaba al participante que inventara, a través de una representación gráfica, utilizando lápiz y papel, una explicación para el concepto físico de la tarea de la sesión. Esta actividad se realizó previamente a cada tarea en las tres primeras sesiones virtuales y fue aplicada únicamente para los niños en la condición de invención ($n=4$). Una vez terminara de hacer la representación, se le pedía al participante que explicara su razonamiento detrás de dicha elaboración. Luego se le presentaba la tarea y al final de esta, se le pedía que regresara al dibujo que había hecho para preguntarle qué cambios o correcciones haría y pedirle que los hiciera con una nueva representación en la página de atrás (apéndice G). Este proceso fue similar al método utilizado por Lamnina y Chase (2019; 2021). Los niños de esta condición vieron el mismo video que los niños de ID de al finalizar todas las demás actividades.

Condición de *Instrucción Directa* (ID)

Los participantes que pasaron por la condición de instrucción directa recibieron una instrucción guiada mediante un video sobre la aplicación de los conceptos físicos a cada tarea. Para estos participantes, el video se presentó antes de iniciar la familiarización con el software de la tarea.

Procedimiento

Todas las sesiones comenzaron con dos videos: uno temático (que explicaba la consigna) y otro que introducía los componentes resolutivos del problema. El primer video contenía la consigna de ayudar a “Leo”, un personaje inventado que requería asistencia en todas las tareas.

Los niños de la condición de invención primero debían realizar la actividad de invención, previo al video, después todos pasaban por una fase de familiarización (3 a 5 minutos) donde los participantes exploraban los elementos de la tarea mientras se les explican sus funciones. Solo los participantes de la condición de *invención* recibieron la actividad de invención específica para esa sesión. A todos los grupos se les explicó el objetivo de la tarea. El procedimiento se aplicó a todas las tareas según sus características virtuales o físicas. Los participantes disponían de entre 25 a 30 minutos aproximadamente para realizar tantos intentos como pudieran, o los solicitados, a medida que manipulaban la tarea para alcanzar el objetivo planteado.

A continuación se describe el procedimiento completo para cada una de las cuatro tareas. Se especifican tiempos, acciones y fundamentos teóricos, para una mejor comprensión se puede ver el apéndice E del cuestionario con el set de instrucciones y preguntas completas. Se recomienda regresar a la figura 3 para tener en cuenta las diferencias procedimentales en ambas condiciones.

Sesión 1: Ley de Equilibrio (virtual)

El objetivo de esta tarea fue evaluar el aislamiento inicial de variables (peso, número de objetos y posición) en un sistema físico simplificado para equilibrar objetos en un balancín. Antes de empezar, se le indicaba al niño que la grabación empezaba a correr y se le presentaba la condición de base para el tratamiento: si era de invención, pasaba a realizar la actividad de invención, o si era de instrucción, se le colocaba un video explicativo de las variables de la tarea. Luego, a ambos grupos de niños se les presentaba el video temático que introducía la consigna de la tarea. La familiarización consistió en cargar el modo ‘introducción’ del programa donde pueden manipular dos extinguidores, la indicación que se les dio fue "juega con esta balanza.

Puedes mover los objetos y ver qué pasa". Aquí se les enseña cómo mover los objetos con el mouse y también a seleccionar unas métricas que podrían servirles más adelante, como lo es el señalamiento de posición, peso y estado de equilibrio del balancín.

Posteriormente, se pasó a presentarles los seis problemas de la tarea secuencialmente⁴. Los problemas variaron entre situaciones que requerían equilibrar el balancín, determinar hacia qué lado se inclinaría el balancín y descubrir el peso de algunos objetos misteriosos. Se permitió que el niño hiciera al menos dos intentos por problema, pero se intentó no limitar su exploración con el programa de modo que, si lo necesitaba, podía hacer más intentos, a no ser que se tomara mucho tiempo para resolver el problema (5 minutos).

Un intento para esta tarea consistía en comprobar un efecto resultante de la manipulación de una o más variables relacionadas con el objetivo del problema, acompañado de la explicación verbal de una de nuestras preguntas de comprobación. Por ejemplo, en el problema 1, la consigna era: «¿Cómo harías para equilibrar dos objetos en el balancín?». El balancín estaba vacío, por lo que el intento del niño consistía en colocar al menos dos objetos a ambos lados del balancín en comparación y explicar su razonamiento. Las preguntas que acompañaban a los intentos por parte del investigador eran de naturaleza indagatoria con respecto a su forma de resolver los problemas: «¿Por qué hiciste eso de tal o cual manera?», «¿Qué crees que pasó con ese objeto?», «¿Cómo harás para resolver esta situación?».

Una vez finalizados todos los problemas, pasábamos a hacerle algunas preguntas que indagaban sobre su comprensión final del concepto físico de la tarea. En este caso, ese concepto

⁴ Las instrucciones detalladas de esta tarea y las siguientes pueden encontrarse en los anexos.

era la *ley de equilibrio*, así que la primera pregunta consistía en explicar cómo se equilibraba un balancín. Luego, dos preguntas de factores de confusión se le hacían en concordancia con su respuesta anterior, donde debía argumentar si algo era cierto o no: la primera, con factores de confusión, indicaban una situación en que el color era importante para el equilibrio de los objetos; la segunda, sin factores de confusión, constataba un escenario donde el peso de dos objetos variaba significativamente (una maleta llena de libros y una manzana) y se ponía en duda si en verdad se podrían balancear.

Sesión 2: Carro Trampa (virtual)

El objetivo de esta tarea consistía en analizar la ECV en un sistema multicausal, donde interactuaban las distintas partes de un “carro trampa”. Tal como en la anterior, esta tarea comenzaba con el anuncio de la grabación de pantalla y cámara, y se pasaba a darle las indicaciones de condición dependiendo de qué tratamiento pertenecía (los niños de invención realizaban la actividad de invención y los de instrucción pasaban a ver el video instruccional). Se presentó el video con el personaje de Leo, introduciendo la consigna de la tarea que era ayudarlo con su taller de carros. Luego, la familiarización consistió en mostrarle al niño cómo seleccionando cada parte del carro y del entorno, lo iba armando y así podía probarlo en la pista seleccionada. Después de haberse familiarizado, pasó a realizar dos consignas, cada una con 3 a 4 intentos en promedio. La primera consistía en armar un carrito que pudiera llegar lo más lejos posible; la segunda era lo opuesto: hacer que el carro avanzara muy poco en la pista.

Se realizó el mismo acompañamiento con las preguntas de indagación, esta vez añadiendo otras de predicción como: “¿crees que le irá mejor con las nuevas partes que has seleccionado?”. Para la finalización, se realizaron preguntas de comprensión sobre el

funcionamiento del carrito trampa y además de qué partes consideraba que le funcionaban mejor para las dos consignas. Se cerró la sesión con las dos preguntas de factores de confusión, que eran “¿crees que el color de la pista afecta el desplazamiento del carro?”, y “un ingeniero de una fábrica de carros dice que un carro puede recorrer más distancia si la pista en la que lo prueban es completamente lisa ¿crees que es verdad?”, respectivamente.

Sesión 3: Engranajes (virtual)

El objetivo de esta tarea fue explorar la transferencia de movimiento en un sistema simulado de engranajes, donde los niños podían probar con diferentes diámetros y número de engranajes conectados. Se inició con las actividades de invención o videos instruccionales para cada niño respectivamente, luego, se pasó al video introductorio con Leo (ayudarle con su taller de relojes averiados) y de ahí, la familiarización con el programa. Esta consistió en los dos primeros problemas de la serie de problemas visuales del programa, donde se podía ver el funcionamiento de los engranajes cuando se conectan, o en su defecto, cuando hay algún espacio que puedan llenar y alterar todo el sistema.

Posteriormente, se aplicaron los problemas 4, 7, 11 y 15 del programa. Los problemas variaron entre predicciones (hacia qué lado se movería cierto engranaje), cambios de dirección (hacer mover un engranaje en sentido contrario), de velocidad (alternar entre un sistema de engranajes lentos o rápidos), o de transmisión (conectar con el mayor número de engranajes posible). Una vez terminado, se finalizaba la sesión con la pregunta de recuperación y las dos con factores de confusión.

Sesión 4: Catapulta (física)

Esta última tarea, de modalidad física, tuvo como objetivo principal evaluar la transferencia remota de la ECV en un contexto no virtual. Aquí, los niños podían manipular el tipo de objeto a lanzar, la tensión del disparo y la distancia de la catapulta a los objetivos. En esta tarea no hubo actividad de invención ni video instruccional, pero sí una fase de familiarización de 2 minutos que consistió en mostrarle el mecanismo de accionamiento de la catapulta y sus partes. Fueron seis problemas presentados, divididos en dos tipos de consigna: tres para llegar a una distancia en el eje X del plano en el que funciona la situación problema (es decir, el suelo), y tres para alcanzar una distancia en el eje Y del plano en el que funciona la situación problema (es decir, la pared). Estos problemas iban alternándose entre sí para sumarle a la dificultad y disminuir la probabilidad de llegar a un objetivo por azar.

Una vez terminados los problemas, se le hacía el cuestionario final acerca del funcionamiento de la catapulta (pregunta de recuperación) y de sus factores de confusión. Finalmente, se presentaba un video de despedida de Leo, agradeciéndoles por su participación junto con un pequeño dulce.

Recolección de datos

Para capturar sus acciones en los programas digitales y sus verbalizaciones se utilizó un software de grabación de pantalla, cámara y micrófono llamado OBS Studio (OBS Project, 2025). Se recolectaron los datos y se agruparon los intentos mediante un sistema de triangulación integrado de *datos cuantitativos* (los niveles codificados de Uso de ECV) y *datos cualitativos* (las verbalizaciones del niño operacionalizadas en Explicación de ECV). Los datos fueron

utilizados en una matriz de codificación (ver apéndice H) de seguimiento virtual mediante un formato de rejilla en una base de datos para validar la aplicación y ajuste de la ECV (explicación y uso), luego se sometieron a un análisis por parte de los investigadores para determinar la transferencia dinámica de los niños y niñas en cada una de las tareas. Ver las figuras 1 y 2 en la operacionalización del problema para tener presentes los niveles de codificación.

Validación y rigor

Para garantizar la validez de los datos recolectados y la fiabilidad de los hallazgos, este estudio implementó una estrategia de aseguramiento de la calidad metodológica que abarcó desde la definición conceptual de las variables hasta el procesamiento final de los datos. La validez de constructo se fundamentó en la adopción de categorías operativas previamente consolidadas en la literatura sobre razonamiento científico. Específicamente, los indicadores de desempeño para evaluar la Explicación y el Uso de la ECV se basaron directamente en las taxonomías desarrolladas por Klahr y Chen (1999).

La validez interna y la estandarización del procedimiento se aseguraron mediante el diseño y el cumplimiento estricto del protocolo de aplicación. Este protocolo, disponible en los anexos, fue el resultado de un proceso iterativo de discusión y planificación llevado a cabo por el equipo de investigación a lo largo de múltiples sesiones de trabajo. El objetivo de estas reuniones fue unificar los criterios de interacción con los participantes y definir con precisión las consignas, los tiempos de intervención y el manejo de los materiales tanto virtuales como físicos. Durante la fase de recolección de datos, los investigadores cumplieron el guión estandarizado, minimizando así el error atribuible al examinador y garantizando que todos los participantes estuvieran expuestos a las mismas condiciones.

Como medida adicional de control de calidad, se llevó a cabo una prueba piloto previa al inicio formal del estudio. Esta implementación preliminar permitió identificar posibles errores en la ejecución de las tareas virtuales y físicas, así como para detectar ambigüedades en las instrucciones verbales entregadas a los niños. A partir de los hallazgos del piloto, se realizaron ajustes técnicos en el software y refinamientos en el protocolo.

Organización de los datos

Teniendo en cuenta que el presente trabajo tuvo como objetivo contrastar el efecto que tienen distintos elementos ambientales como factores de predicción para la transferencia de la ECV, para ello, se analizaron los resultados, primero por tratamiento de la condición y luego por variabilidad intraindividual considerando los factores que explican el éxito o no en la transferencia o el nivel de apropiación de la estrategia. El análisis se desarrolló mediante un enfoque mixto (cuantitativo-cualitativo) y se lleva a cabo en el siguiente capítulo.

Para codificar cada uno de los intentos se utilizó un software de codificación dual de videos llamado ELAN (The Language Archive, 2025). Los datos cuantitativos se codificaron en una hoja de cálculo de Excel, incluyendo las siguientes variables: Participante (ID), edad (años y meses), tanda, condición, género, aplicador y las variables de aplicación: fecha de aplicación, tarea, resolución del problema, Explicación de ECV (0-4) y Uso de ECV (0-4). Los datos cualitativos fueron procesados directamente en la hoja de cálculo como *Explicación de ECV* (verbalizaciones), junto con las preguntas de recuperación y factores de confusión. Todos los datos fueron anonimizados mediante la sustitución de nombres por códigos alfanuméricos (ej. TJP6, DIP6) y almacenados en carpetas cifradas en plataformas seguras (Google Drive)

Capítulo 4

Análisis de resultados

En el Capítulo 1, del presente trabajo se plantea la siguiente pregunta problema: *¿Cómo se transfiere la estrategia de Control de Variables (ECV) en niños de 5 a 9 años cuando se enfrentan a tareas de experimentación con dos condiciones de incertidumbre?* En este capítulo se busca responder a esa pregunta desde una base empírica con el propósito de lograr los objetivos planteados: (a) Comparar el desempeño en la Explicación y el Uso de la ECV durante las tareas entre la condición de IV y de ID; (b) Describir las trayectorias de variabilidad intraindividual en la aplicación de la ECV, asociados a la exploración activa mediada por las condiciones de incertidumbre; y (c) Analizar la transferencia de la ECV desde tareas virtuales a la tarea física, considerando los ajustes contextuales y autoorganización de estrategias.

Comparación de la evolución en el desempeño de los participantes en la Explicación y el Uso de la ECV

Para realizar una comparación adecuada, es fundamental observar los cambios a lo largo del tiempo, y una de las formas más habituales y sencillas de hacerlo son los gráficos de líneas. En este caso, como se midieron dos componentes (Explicación y Uso) para cada sujeto, se optó por representaciones que pudieran mostrar cada una de sus trayectorias y variabilidad, no obstante, agrupadas por condición.

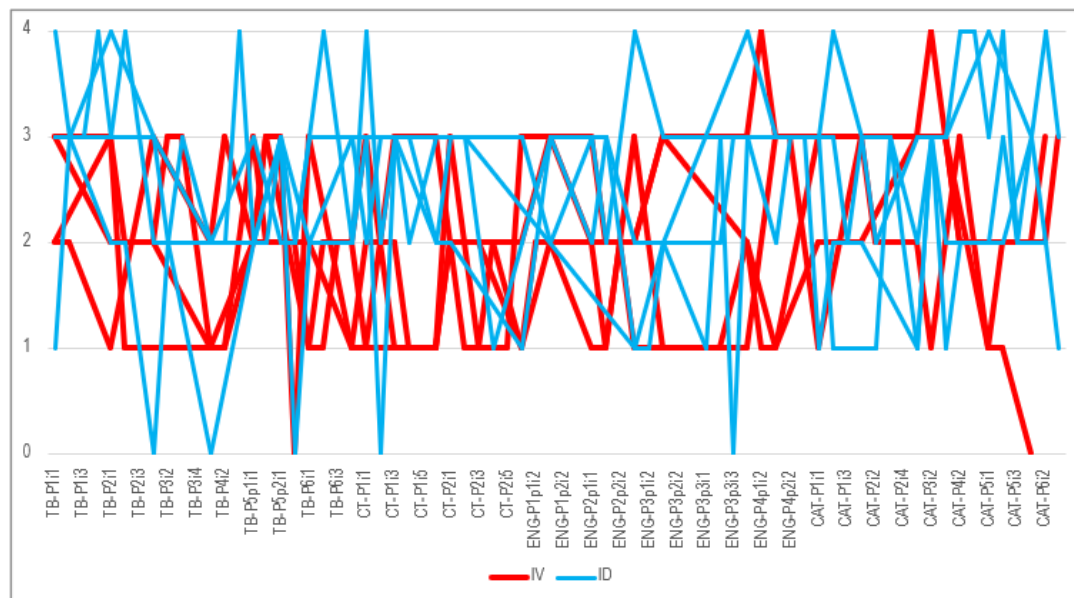
En la Figura 8 se muestra el rendimiento de cada participante en el dominio de la explicación, donde cada participante está asociado a uno de dos colores según su condición. En este gráfico, los participantes de la condición IV muestran una posible tendencia hacia los

niveles intermedios (del 1 al 3) para todos los sujetos, debido a una variabilidad más acotada, lo que sugiere que este grupo ha obtenido principalmente un desempeño intermedio. Solo al final de la tarea ENG se observa cómo uno de ellos obtiene por primera vez una puntuación para el nivel 4. Además, en la tarea física CAT se observa un menor número de puntuaciones en el nivel 1 y una mayor fluctuación: uno de los sujetos obtiene de nuevo la puntuación más alta (4) y se obtiene la primera puntuación en el nivel 0 de esta condición.

Por el contrario, dentro de la condición ID se obtiene una mayor fluctuación y amplitud de inicio a fin en comparación con los participantes de la condición IV: sus puntajes en el gráfico van de los niveles 0 a 4, teniendo una mayor cantidad tanto de 0 como de 4 que los sujetos en la condición IV. Esta tendencia a tocar los extremos se mantiene en casi toda la gráfica, especialmente en TB y final de CAT, así como parte de ENG; pero no tanto así en CT como en el inicio de ENG. Esto quiere decir que los sujetos en ID tendían a dar explicaciones más cercanas a la lógica de la ECV con más frecuencia que el grupo IV. Los puntajes 0 obtenidos en este grupo se observan frecuentemente al inicio, quizás como un proceso de adaptación por parte de al menos uno o algunos de los sujetos de este grupo. Con este gráfico se hace evidente que existe una diferencia cualitativa en la dinámica de ambos grupos en cuanto a este dominio (Explicación).

Figura 8

Comparación de grupos en el dominio de Explicaciones de la ECV



Nota. En color rojo: participantes de la condición Invención (IV), y en color azul: Instrucción Directa (ID). En el eje X, las tareas están codificadas de esta manera: TB= Tarea Balancín (Ley del Equilibrio), CT= Carro Trampa, ENG= Engranajes, CAT= Catapulta. Las letras “P” e “i” equivalen respectivamente a Problema e intento (i.e., P1i2= Problema 1 intento 2). En el eje Y, están los niveles para explicación de la ECV: 0= No respuesta, 1= Explicaciones externas, 2= Explicación con factores de confusión, 3=Explicación de control parcial, 4= Explicación de lógica ECV.

La figura 9 representa gráficamente de la misma manera el dominio de Uso de la ECV. En esta ocasión se puede dar cuenta como ambas condiciones mejoraron su desempeño en este dominio a lo largo de todas las tareas; los participantes de ID iniciaron con amplitud (0 a 4), sin embargo, para cuando llegaron al inicio de la tarea ENG, ya tenían consolidado un desempeño más alto (tendencia hacia los niveles de 2 a 4), mientras que en la condición IV obtuvieron un

desempeño similar a partir de la tarea CAT. El gráfico demuestra que los sujetos en ID consiguieron adaptarse antes que aquellos en IV, aunque ambos llegaron a obtener un desempeño óptimo al final de la aplicación, ya que se puede observar una mayor cantidad de picos hacia el nivel 4 creando un nuevo patrón hacia un desempeño superior.

Figura 9.

Comparación de grupo en el dominio de Uso de la ECV



Nota. Niveles Uso de ECV: 0= No manipula ninguna variable; 1= Acciones rudimentarias; 2= Comparación con factores de confusión; 3= Comparación no contrastantes; 4= Comparaciones dentro de la lógica de la ECV.

Desempeño por nivel de dominio

Teniendo en cuenta la Figura 8 y 9 es posible argumentar una diferencia en los desempeños entre Uso y Explicación para ambas condiciones a lo largo de las aplicaciones de las tareas. Lo que se observa es que hay mayor variabilidad en cuanto al tipo de explicaciones que

daban los sujetos, pero una adaptación y reajuste más notable en cuanto al uso, es decir, a las acciones que realizaba el niño para resolver los problemas. Sin embargo, con estos gráficos es complejo dar cuenta con qué frecuencia cada condición obtuvo un número de puntajes en cada nivel de dominio.

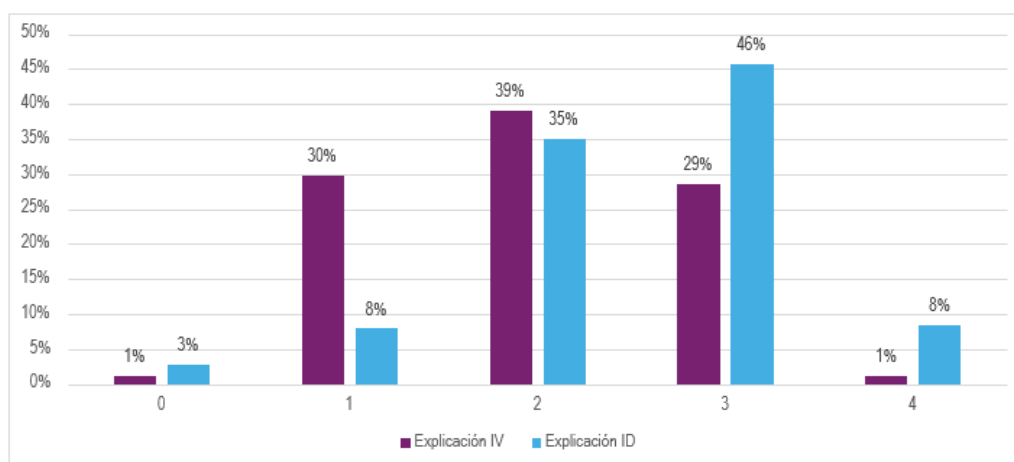
Por lo tanto, en la figura 10 se resuelve este problema comparando porcentualmente estos niveles para ambas condiciones. Iniciando por el dominio de Explicación de la ECV, ambos grupos obtuvieron porcentajes bajos en el nivel más bajo (0; IV=1%, ID=3%) y en el nivel más alto, aunque para la condición ID este último fue mayor que en la condición IV (4; IV=1%, ID=8%). En cierto sentido, se podría plantear que los participantes de la condición IV tienen una tendencia a permanecer entre los niveles intermedios del 1 a 3 (1=30%, 2=39%, 3=29%) siendo el número 2 el nivel con mayor porcentaje, lo que significa que la mayoría de sus respuestas se enfocan en explicar los cambios que realizaron dentro de una sola variable focal. El resto de sus explicaciones eran irrelevantes (nivel 1) o de control parcial (nivel 3). Por su parte, los sujetos de ID obtuvieron sus mayores porcentajes en los niveles 2 (35%) y especialmente en el 3 (45%) mientras que en el nivel 1 obtuvo un 8%. Esto corresponde a lo afirmado anteriormente sobre cómo este grupo tendió a dar explicaciones más cercanas a la lógica de la ECV (que podría deberse a que tuvieron mayor conocimiento sobre los problemas) aunque aún de manera muy parcial, ya que no siempre contemplaron todas las variables a controlar o manipular.

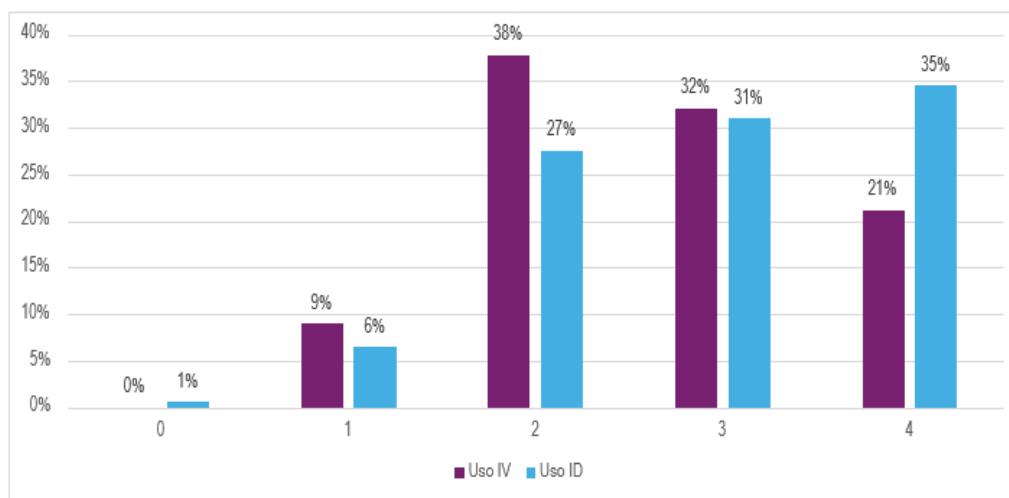
En el gráfico para uso de ECV ambas condiciones obtuvieron sus porcentajes más bajos en los niveles más bajos. La condición IV no obtuvo puntajes en el nivel 0 (0%) mientras que dentro la condición ID solo obtuvieron un 1% en total; para el nivel 1 fue respectivamente un 9% y 6%. Para los niveles 2, 3 y 4 el grupo IV obtuvo respectivamente 38%, 32% y 21%; mientras que la condición ID, obtuvo 27%, 31% y 35%. Esto quiere decir que, hay efectivamente una

diferencia en el desempeño entre la Explicación y el Uso en ambos grupos, ya que para este último los resultados son visiblemente mejores porcentualmente. Sin embargo, la condición ID demuestra un desempeño superior a la condición IV, ya que obtuvo un mayor porcentaje en los niveles más altos, mientras que para IV sucedió en los puntajes intermedios. Aunque dentro del marco la teoría de los Sistemas Dinámicos, es importante tener en cuenta la figura 9 en la que se demuestra un desempeño similar a la condición ID en los últimos problemas de la aplicación, es decir, aunque hay diferencias en el ritmo de adaptación y reajuste ambos llegaron a una meta similar.

Figura 10.

Porcentaje por nivel de Explicación y Uso: IV vs ID





Análisis del cambio entre los niveles de dominio de la ECV a partir de matrices de transición

En esta sección se describen los flujos entre los niveles de los dominios a partir de la técnica de matrices de transición. La representación se hace a partir de diagramas que se asemejan a los realizados por Guevara et al. (2016), basados en los trabajos de Grinstead y Laurie (1997) y sirven para caracterizar la dinámica microgenética del aprendizaje (transferencia). A partir de esta herramienta se puede visualizar y cuantificar las rutas de cambio (flujos entre niveles) o la estabilidad (permanencia) en un nivel a lo largo de todos los intentos realizados por los sujetos según la condición. En ese sentido, la figura 11 permite observar estas interacciones según el dominio (Explicación - Uso) por medio de porcentajes que representan la frecuencia relativa respecto al total de eventos registrados en cada condición (IV - ID), con flechas que indican la dirección de dichos flujos.

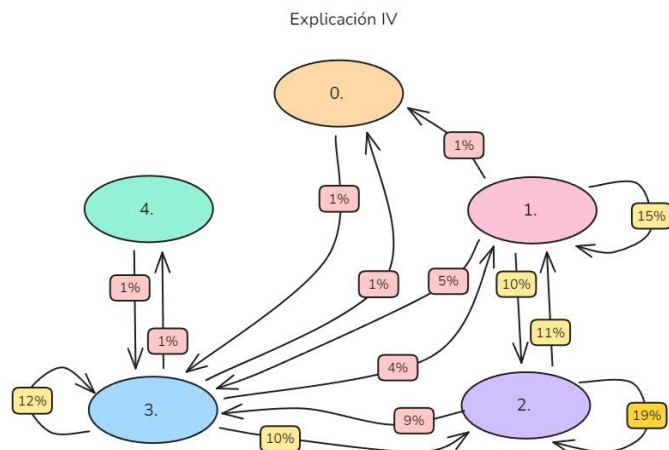
En el diagrama de Explicación para IV se comprenden de manera significativa permanencias en el nivel 2 (19%), 1 (15%) y 3 (12%), y flujos bidireccionales: 2→1 (11%), 1→2 (10%), 3→2 (10%) y 2→3 (9%). Estos resultados vuelven a develar un nivel intermedio de

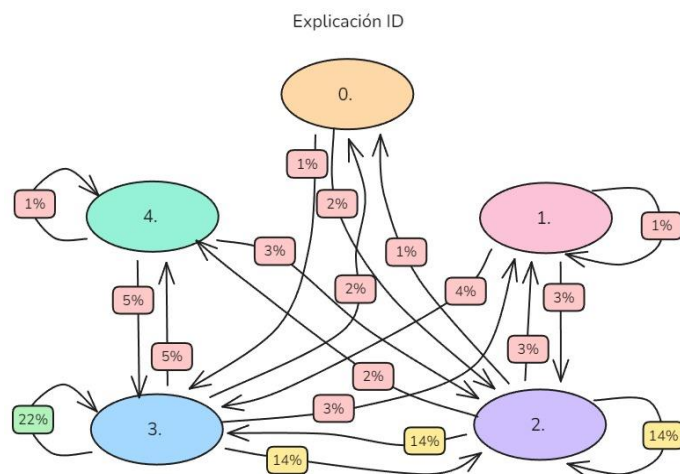
desempeño en el dominio de Explicación para los sujetos en esta condición, los cuales varían entre respuestas irrelevantes para la ECV, explicaciones que se enfocan en los cambios en una sola variable (nivel 2, siendo este un patrón constante por el porcentaje de permanencias y flujos hacia este) o que mencionan parcialmente el control de algunas variables (nivel 3). Aunque menos significativos porcentualmente, otros flujos fueron 3→1 (4%), 1→3 (5%); mientras que las demás interacciones rondan el 1%, sobre todo aquellas transiciones hacia los picos (0 y 4), donde el nivel 3 surge como un puente de transición para el flujo hacia estos.

Por otro lado, en el diagrama de Explicación ID se observan permanencias porcentualmente significativas en los niveles 3 (22%) y en menor medida el 2 (14%) y un flujo bidireccional estable entre ambos (3→2, 2→3; 14% cada uno), lo cual podría definir una tendencia relativa a encontrarse en esos niveles. A diferencia de IV, es posible argumentar una mayor cantidad de flujos para ID entre todos los niveles aunque en porcentajes no tan notorios. Sin embargo, así como en dicha condición, en este diagrama no hay flujos visibles de pico a pico ya que también se dio por medio de niveles intermedios (2 y 3).

Figura 11.

Diagramas de transición por condición y Explicación de ECV.





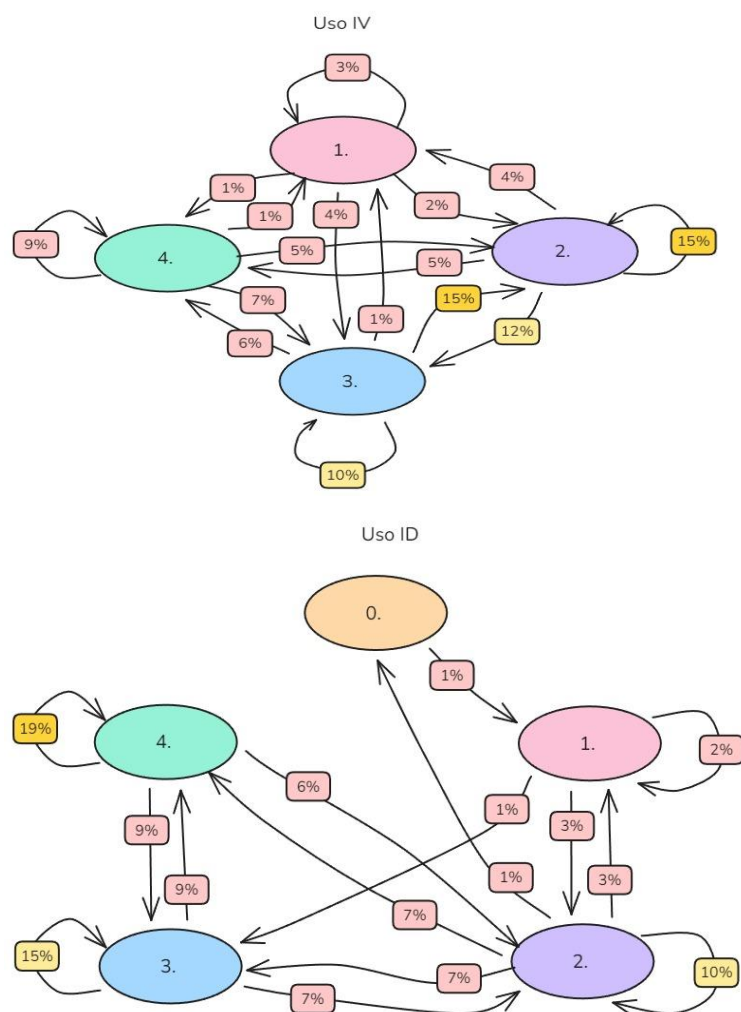
Por su parte, en la figura 12, el diagrama de Uso para la condición IV se encuentra permanencias en el nivel 2 (15%), 3 (10%), y 4 (9%), así como notables flujos bidireccionales entre estos mismos niveles: 3→2 (15%) y 2→3 (12%), 3→4 (7%), 4→3 (6%) y una estabilidad bidireccional entre 2 y 4 (5% cada uno). Este diagrama destaca porque no hay flujos hacia el nivel 0, esto se debe a la ausencia de puntajes hacia este nivel para esta condición como se demuestra en las figuras anteriores. Además, muestra una gran variabilidad en las interacciones, con un flujo bidireccional entre los niveles 1 y 4 aunque en un porcentaje bajo (1%).

Finalmente, en cuanto al diagrama de Uso para ID las interacciones más relevantes se concentraron establemente entre los niveles más altos: las permanencias en el nivel 4 (19%) y 3 (15%), seguidas de una permanencia en el nivel 2 (10%) y flujos bidireccionales con una dinámica equilibrada entre 4 y 3 (9% cada una), 3 y 2 (7% cada una), así como de 2→4 (7%) y 4→2 (6%). En general, este diagrama comprueba nuevamente que la condición ID tuvo un mejor desempeño, ya que sus niveles de permanencia y de flujo se encuentran en los niveles más altos jerárquicamente. Es preciso notar que en este diagrama se puede comprobar una menor variabilidad de interacciones que en la condición IV para este dominio; además, los niveles 2 y 3 fueron los únicos que tuvieron un flujo directo con el nivel 4.

En definitiva, estos diagramas reafirman la hipótesis de que los sujetos en IV tuvieron un desempeño general inferior a ID. No obstante, a pesar de estos resultados, se revela una nueva dinámica en cuanto a las interacciones y las rutas que tomaron los participantes: mientras que los sujetos en IV mostraron mayor rigidez en el dominio Explicación y tuvieron una variabilidad alta en Uso, es decir, un mayor número de flujos, aquellos en ID mostraron un patrón inverso. Esto podría sugerir que mientras los sujetos en IV enfocaron sus esfuerzos cognitivos en la exploración, los sujetos en ID priorizaron la formación de argumentos causales.

Figura 12.

Diagramas de transición por condición y Uso de ECV.



Correlación entre dominios: análisis intraindividual de la trayectoria de variabilidad de los sujetos

Habiendo analizado las trayectorias por condición en las secciones anteriores, en esta sección se ha optado por hacer un zoom en las trayectorias intraindividuales de los sujetos con la intención de hacer un análisis microgenético que pueda responder al tema central de este trabajo: cómo se enfrentan los sujetos a tareas que implican hacer uso de habilidades de experimentación.

Para ello, en la figura 13 se usó el coeficiente de correlación de Spearman que permite observar la asociación o acoplamiento entre dos variables, en este caso, los dominios de la ECV para cada uno de los sujetos. Es decir, en dicha matriz podemos dar cuenta de si los cambios que suceden en Explicación se corresponden con los cambios en Uso.

Figura 13.

Coeficiente de correlación de Spearman: asociación entre Explicación y Uso por sujeto

Sujeto	Condición	<i>n</i> (intentos)	Coeficiente (r_s)	Estadístico <i>t</i>	Sig. ($p<.05$)
TJP6	IV	35	.31	1.89	NO
JAR9	IV	38	.28	1.75	NO
ORM6	IV	45	.22	1.50	NO
GL6	IV	34	.40	2.49	SÍ
DIP6	ID	47	.39	2.81	SÍ
OMA7	ID	43	-.032	-0.20	NO
M5	ID	48	.37	2.68	SÍ
TAO7	ID	30	.30	1.66	NO

Nota. Ya que el número de observaciones varió entre los practicantes (rango *n* entre 30 y 48; $df=n-2$) el valor t_{crit} se ajustó individualmente (valores t_{crit} entre 2.01 y 2.05). En este sentido, las correlaciones significativas fueron aquellas en las que *t* superó su respectivo umbral crítico ($\alpha=.05$).

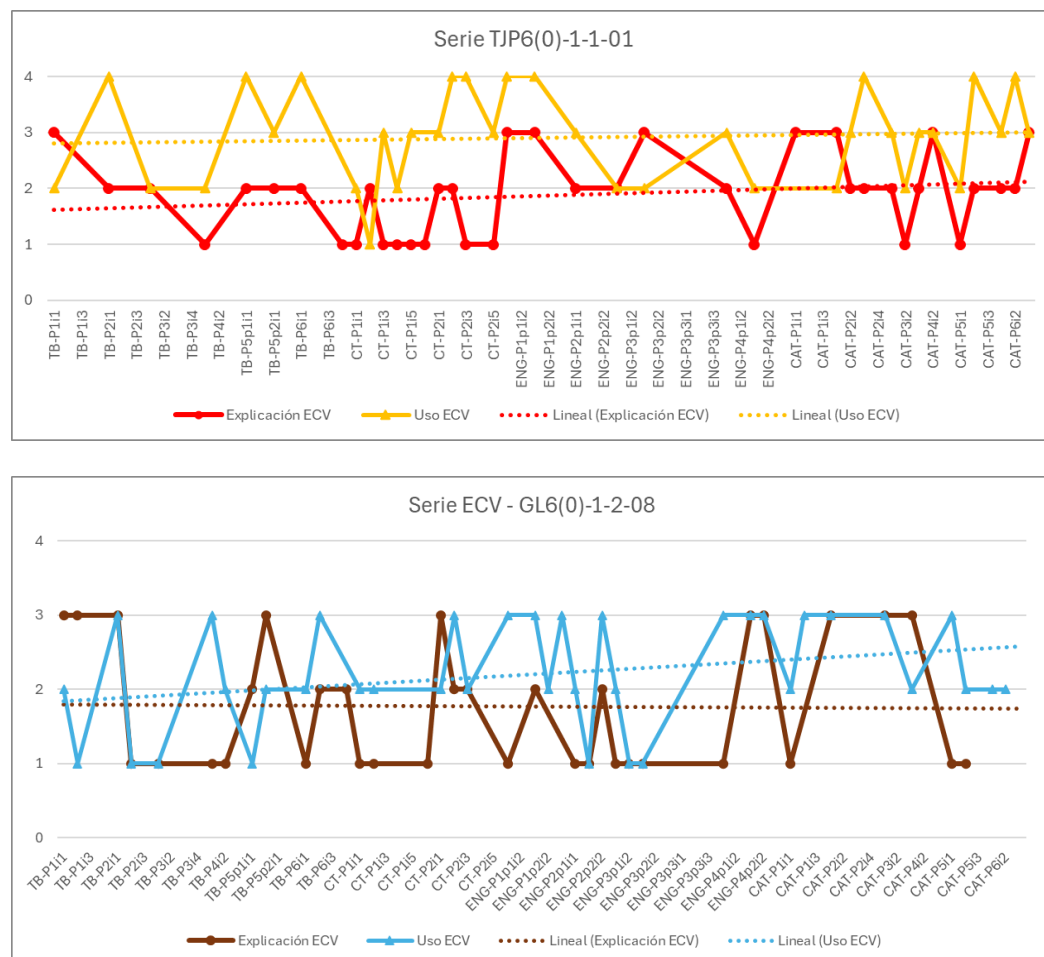
En términos generales, la figura 12 muestra una asociación entre los dominios de la ECV en 3 de los participantes: 1 en IV (GL6) y 2 en ID (DIP6 y M5). Sin embargo, de acuerdo a los rangos para el coeficiente de correlación de Spearman (r_s) estas asociaciones se consideran moderadas, lo que quiere decir que a pesar de que estos sujetos lograron coordinar la ejecución práctica y la verbalización de la estrategia en múltiples ocasiones, aún existe un poco de ruido en

el desempeño. Para revisar esto con más detalle se decidió tomar las trayectorias de 4 sujetos, 1 con correlación significativa y 1 no significativa por cada condición. Esto permitirá ilustrar brevemente los cambios en el microdesarrollo y la asociación entre los dominios de manera visual.

La figura 14 muestra los 2 sujetos del grupo IV que fueron seleccionados para este análisis: TJP6 cuya correlación fue no significativa y GL6 para quien sí lo fue; en estas gráficas también se pueden observar líneas de tendencia para los dominios de la ECV. En ambos casos es notable que los sujetos tuvieron un mejor desempeño en Uso que Explicación. En el caso de TJP6, este obtuvo puntajes más altos en Uso que GL6, incluso es posible argumentar que hubo una tendencia leve creciente, casi paralela, en el desempeño de ambos dominios, mientras que para GL6 la tendencia parece contra intuitiva, ya que se puede visualizar como Uso fue creciente y Explicación se comportó relativamente estable durante todas las tareas. No obstante, el mayor acoplamiento entre las variables de dominio que define el coeficiente de correlación de Spearman para GL6 puede deberse a estos dos hechos observables: hay una mayor semejanza en los puntajes de los niveles para ambos dominios (una tendencia o patrón entre los niveles intermedios de 1 a 3) y hay una importante correspondencia entre valles y picos en diferentes ocasiones (muy visible en ENG y CAT). En otras palabras, también se podría argumentar que TJP6 mostró mayor variabilidad en las interacciones entre los dominios que GL6.

Figura 14.

Series temporales intraindividuales para los casos de la condición IV



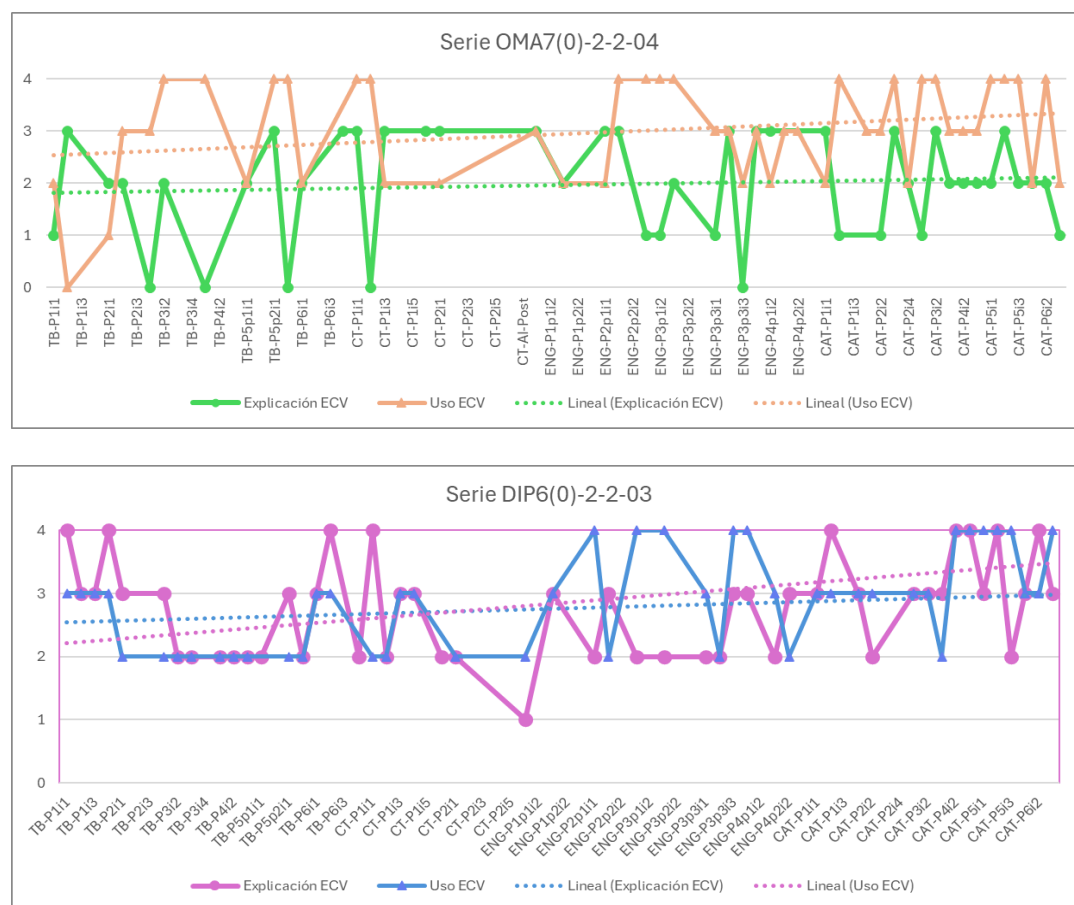
Nota. Únicamente para el gráfico de GL6 se tomó la decisión de no contar el último puntaje de nivel en Explicación, ya que equivalía a 0 y cambiaba drásticamente la dirección de la línea de tendencia. Esto podría causar ruido al leer la gráfica, y más bien podría haberse debido a factores específicos como fatiga o falta de motivación en el sujeto.

En la figura 15 las gráficas de línea para el grupo ID muestran una dinámica similar al dúo anterior. Se seleccionó el caso de los sujetos OMA7 (correlación no significativa) y DIP6 (significativa). Ambos muestran tendencias crecientes en los dominios, particularmente, en el caso de DIP6 Explicación supera a Uso. Se observan algunas caídas leves en partes de CT y

ENG para ambos casos aunque esto se sigue de un rápido reajuste. Nuevamente, como en la otra condición, el sujeto con una correlación no significativa (OMA7) muestra una variabilidad mayor relativa al sujeto con correlación significativa (DIP6), y a diferencia del caso anterior, las puntuaciones en los niveles de dominio de este último (mayoría de 2 a 4) muestran un mejor desempeño que en el caso de su equivalente en IV, GL6 (1 a 3).

Figura 15.

Series temporales intraindividuales para los casos de la condición ID.



Estos 4 casos ilustran la importancia de observar con detenimiento los diferentes cambios microgenéticos en la transferencia intraindividual. Por ejemplo, que exista un acoplamiento entre los dominios no significa que en consecuencia hubo un mejor desempeño, como en caso del

sujeto GL6 (IV). Asimismo, aunado a la alta variabilidad de los desempeños, se evidencia una especialización en el rendimiento de los niños para el dominio de Uso de la ECV.

Análisis intraindividual del cambio: matrices de transición

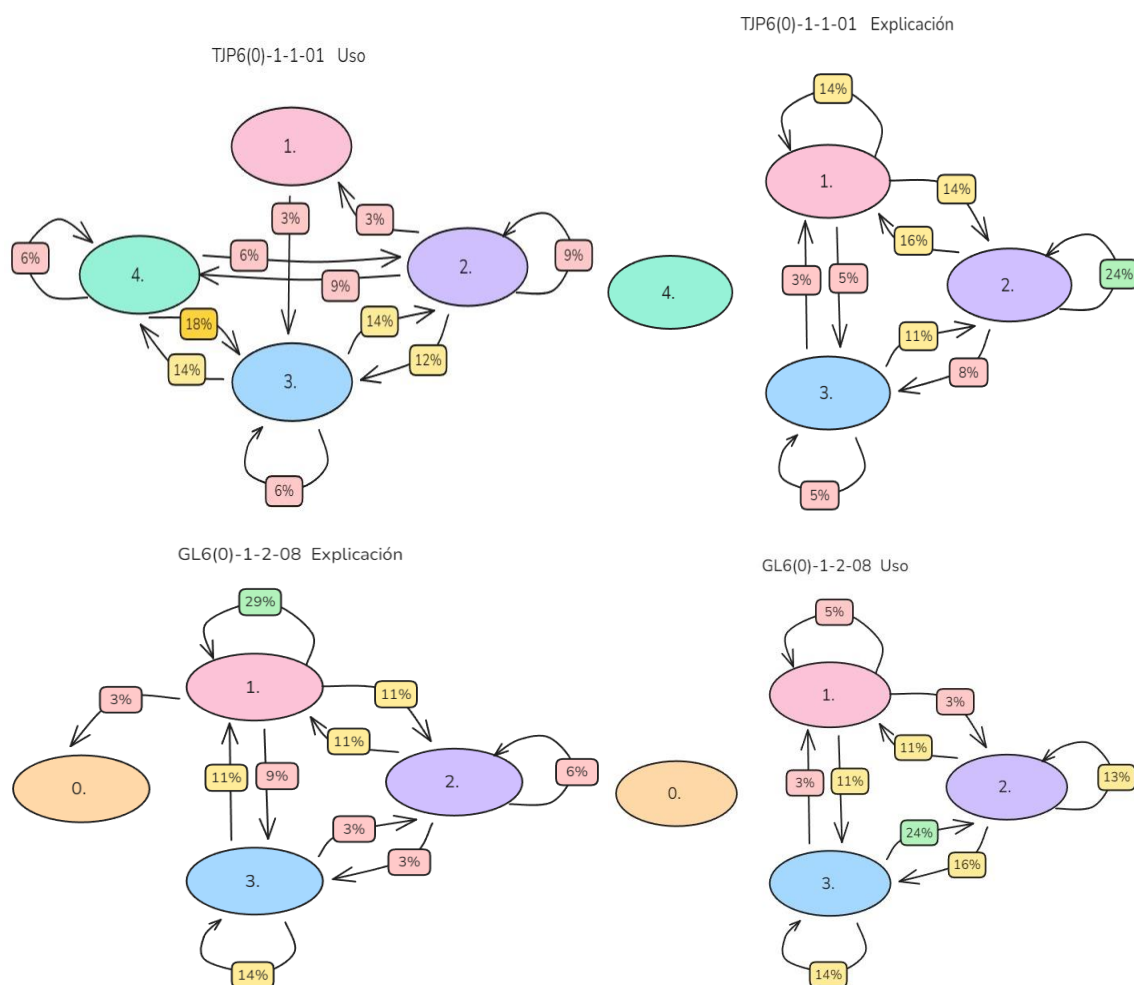
En esta sección, el enfoque desplaza la técnica de matrices de transición desde la dinámica grupal hacia un análisis microgenético más detallado y particular. Como se explicó en secciones anteriores, este método permite visualizar y cuantificar la estabilidad (permanencia en un nivel) y las rutas de cambio (flujos de transición entre niveles) en los dominios de Explicación y Uso de la ECV para los 4 sujetos seleccionados.

La Figura 16 muestra diagramas individuales, revelando los patrones cognitivos y las trayectorias de variabilidad que caracterizan la adaptación y el desarrollo de la ECV en la condición IV a lo largo de las sesiones. Las gráficas ayudan a entender cómo esta condición experimental se manifestó en la reorganización interna de la estrategia en casos concretos, ofreciendo una visión sobre los flujos de transición en el dominio de la ECV como se demostró anteriormente. En estas podemos ver una reiteración de algunos puntos vistos previamente en cuanto a los sujetos en IV: vemos un desempeño superior en el participante TJP6 que en GL6. Si comparamos las permanencias, TJP6 permaneció un 14% en el nivel 1 para Explicación mientras que para GL6 fue de un 29%, lo cual es una diferencia significativa y posiciona este nivel como una tendencia para GL6. Se observa igualmente transiciones bidireccionales regresivas para este último entre los niveles 2 y 1 de un 11%. Es decir, para GL6, una buena parte de sus verbalizaciones no eran relevantes para la ECV. En este mismo dominio TJP6 obtuvo una alta permanencia en el nivel 2 (24%) y un flujo constante hacia este desde los niveles 1 (14%) y 3 (11%), esto convierte a este nivel como un posible patrón para este participante.

En esta misma figura, para el dominio de Uso se hace notable un mejor rendimiento en ambos sujetos, es decir, más transiciones hacia niveles más altos que en Explicación. En el caso de TJP6 se observan concretamente una disminución en las permanencias, pero una mayor cantidad de flujos hacia el nivel 3: $4 \rightarrow 3$ (18%) y $2 \rightarrow 3$ (12%), así como un alto porcentaje en regresiones: $3 \rightarrow 4$ y $3 \rightarrow 2$ (cada una un 14%). Mientras tanto, para GL6 existe un mayor número de interacciones hacia los niveles 2 y 3, constituyendo $3 \rightarrow 2$ un 24% y $2 \rightarrow 3$ un 16% de las transiciones, teniendo también una permanencia del 13% en 2 y del 14% en 3.

Figura 16.

Diagramas de transición intraindividual: participantes en la condición IV.

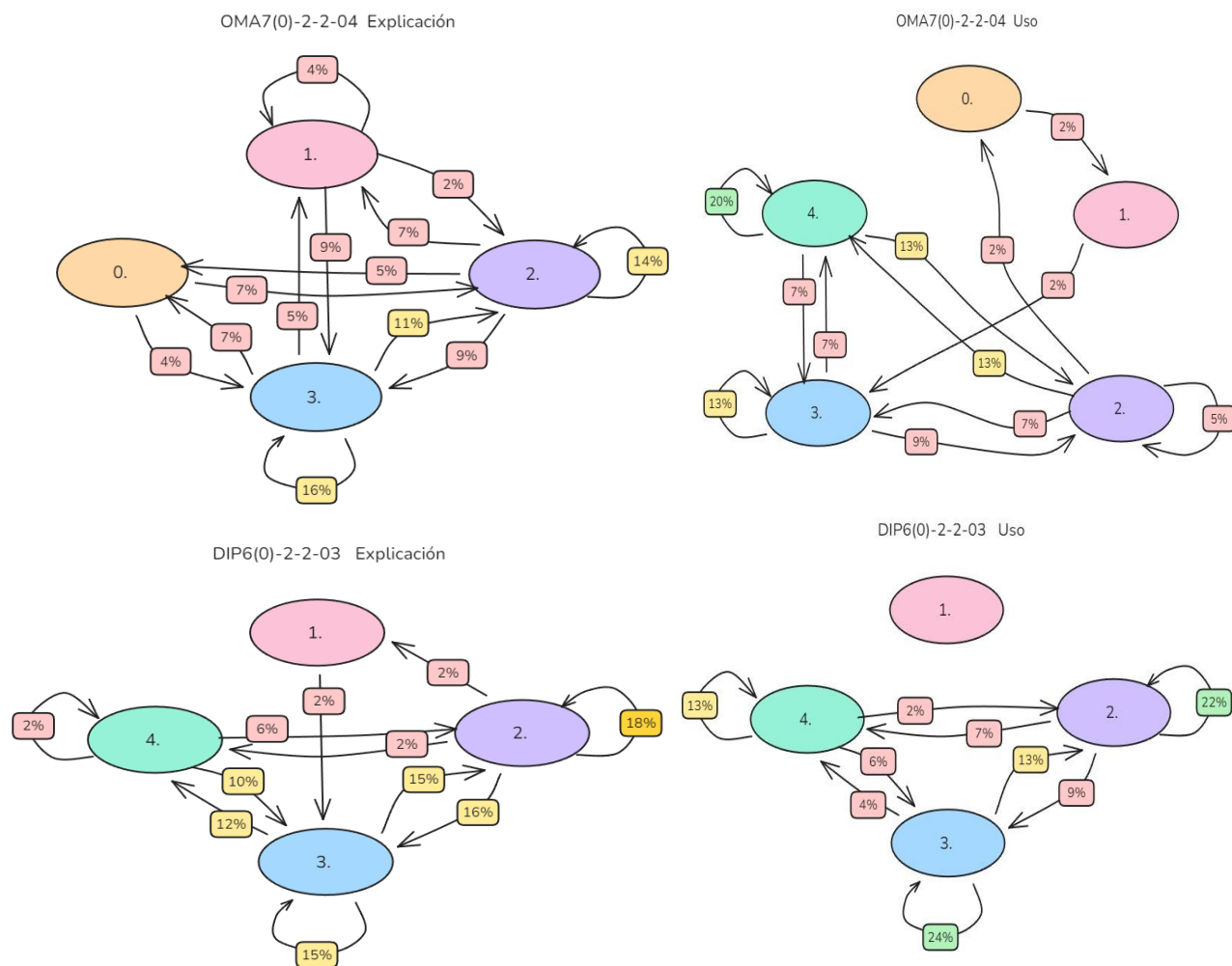


Para el caso de la figura 17, que se enfoca en ID, los sujetos OMA7 y DIP6 muestran, como se había comprobado en las matrices de transición por condición, un mayor número de flujos en el dominio Explicación que en el de Uso, así como permanencias en niveles más altos que la condición IV. En OMA7 hay permanencias en Explicación en los niveles 2 (14%) y 3 (6%), así mismo se observan flujos del 9% en direcciones $1 \rightarrow 3$ y $2 \rightarrow 3$; una regresión de $3 \rightarrow 2$ del 11%; y flujos del 7% en $3 \rightarrow 0$, $0 \rightarrow 2$ y $2 \rightarrow 1$. Para DIP6, en este mismo dominio, hay permanencias en 2 (18%) y 3 (15%), así como un flujo bidireccional entre estos niveles: $2 \rightarrow 3$ (16%), y $3 \rightarrow 2$ (15%); y entre $3 \rightarrow 4$ (12%) y $4 \rightarrow 3$ (10%).

En Uso, es visible una menor variabilidad para ambos casos, pero un desempeño más destacable que en Explicación de la ECV. OMA7 obtiene una permanencia del 20% en el nivel 4 y 13% en el 3. Hay un flujo bidireccional regresivo equivalente y porcentualmente significativo entre 2 y 3 del 13%, y entre 4 y 3 del 7%; así como entre $2 \rightarrow 3$ (7%) y $3 \rightarrow 2$ (9%). Eso muestra simetría en la transición entre estos niveles y una alta eficacia en este sujeto para este dominio, obteniendo flujos hacia niveles de desempeño más altos. Por otro lado, DIP6 muestra varias permanencias en los niveles: 3 (24%), 2 (22%) y 4 (13%), con flujos bidireccionales marcados en estos mismos niveles: $3 \rightarrow 2$ (13%), $2 \rightarrow 3$ (9%), $2 \rightarrow 4$ (7%), $3 \rightarrow 4$ (6%) y $4 \rightarrow 3$ (4%), demostrando así una tendencia más fuerte hacia un desempeño alto en Uso más que en Explicación.

Figura 17.

Diagramas de transición intraindividual: participantes en la condición ID.



En resumen, con la observación de estas rutas de transiciones intraindividuales, se puede argumentar que la instrucción directa favoreció una adopción rápida y verbalmente coherente de la ECV, mientras que se evidencia la capacidad de los niños para ajustar sus acciones físicas con cierta precisión en ambas condiciones. Además, este análisis permite ver diferentes estilos de adaptación y reajuste surgidos a partir de las capacidades de experimentación de los sujetos cuando se encuentran en diferentes condiciones de aprendizaje.

Capítulo 5

Discusión y conclusiones

Este capítulo tiene como objetivo principal interpretar y contextualizar los resultados obtenidos a lo largo del estudio microgenético, buscando responder a las preguntas de investigación planteadas en el Capítulo 1. A partir del análisis de las series temporales y las matrices de transición (expandidas a todos los participantes y no solo los vistos en el capítulo anterior), se examina cómo las condiciones de IV e ID influyeron en la evolución del desempeño de los niños, tanto en el Uso como en la Explicación de la ECV. La discusión se estructura en torno a tres ejes fundamentales: la disociación observada entre Dominio y Uso de la ECV, la variabilidad de las trayectorias individuales como indicador de la autoorganización cognitiva, y el análisis de la transferencia de la ECV de contextos virtuales a físicos. Finalmente, se presentan las principales conclusiones del trabajo y las sugerencias para futuras investigaciones.

La disociación entre Explicación y Uso ¿De qué manera influyó la actividad de invención frente a la instrucción directa?

Consideramos que los participantes que pasaron por ID tuvieron una comprensión más estructurada de cómo ejecutar la ECV, ya que adquirieron la técnica más temprano. Esto se evidenció en la consistencia y el componente del Uso de la ECV en las tareas del principio (TB y CT), como ocurrió con los participantes DIP6 y OMA7. Aunque los participantes de ID también mostraron un desempeño en Explicación coherente al principio, en algunos casos, el desempeño en el constructo de Explicación no fue siempre consistente ni se asoció directamente con la mejoría en Uso. Proponemos que esta disociación se debe a una dependencia de la carga externa

de información proveniente de la instrucción, pues los participantes no tenían que representarse a menudo el estado del problema a un nivel más teórico, lo que se traducía en explicaciones más superficiales y de menor puntaje codificado (figura 8).

En el caso de los participantes de la condición de IV experimentaron un proceso de construcción del conocimiento más adaptable con respecto a la adquisición de la ECV. Esto se debe a que las trayectorias de estos participantes tendieron a mostrar una menor variabilidad de la esperada (hipótesis 1). Atribuimos este fenómeno a una mayor persistencia en ensayos no funcionales, es decir, de permanencia en niveles medios de Explicación, y de Uso. La razón por la que tuvieron una aproximación menos sistemática y con menos ensayos funcionales a largo plazo, consideramos, tiene origen en la perturbación intencionada en forma de incertidumbre y la actividad de invención. Estas condiciones obligaron al sistema a autoorganizarse en función de las nuevas *affordances* que se iban presentando. Adicionalmente, esta manifestación de incertidumbre sobre los contenidos de la tarea, creemos, generó un proceso de respuesta con argumentos más intuitivos sobre los sistemas y menos dependientes en la lógica de la ECV.

El caso del participante TJP6 (IV) ejemplifica este proceso. Logró ejecutar experimentos perfectos en la fase de transferencia física (nivel 4 en Uso), pero sus explicaciones verbales permanecieron en niveles más rudimentarios (nivel 2 en Explicación). Este hallazgo sugiere que la invención fomentó una comprensión procedimental implícita —algo así como un ‘saber hacer’ que se autoorganiza— que antecede a la formalización verbal, mientras que la ID proporcionó el andamiaje verbal desde el inicio, resultando en una mayor coherencia entre lo que los participantes hacían y lo que decían, pero con menor profundidad exploratoria.

También cabe señalar que la preponderancia del componente Uso sobre Explicación fue muy notable. Según la teoría de los sistemas dinámicos (Kunnen, 2012) el cambio cognitivo

ocurre primero a nivel de acción antes de que se reescriba representacionalmente. Es decir, ante la presencia de un cambio en alguna de las variables del sistema, este se autoorganiza en busca de nuevas posibilidades de acción para ajustarse a los parámetros y a las dinámicas de las tareas. Así pues, lo primero que se modifica es la interacción en tiempo real, algo presente a nivel físico, corporal y enactivo (Thelen & Smith, 1994; Kunnen, 2012). La acción fomenta el cambio, ya que la acción es la forma de ser en el mundo. Por lo tanto, no es de extrañar que para la gran mayoría de los participantes mostraran una mejoría en el componente del Uso antes que la Explicación, ya que primero cambia el nivel de acción que su representación.

Además, la incertidumbre actuó como un catalizador para la autoorganización y el proceso de soft-assembly, en el que la ECV emerge como un patrón robusto y flexible que genera una mayor permanencia en el nivel 4 para los participantes de la condición de ID, en su mayor parte, aunque también se observa cierta prevalencia en los participantes de IV (para ver más ejemplos ver apéndice H). Sin embargo, se aprecia una clara disociación en la forma en que evoluciona cada uno de estos componentes de la ECV a lo largo de las sesiones, pues no se correlacionan entre sí a simple vista. Se hipotetizaba que un mayor nivel de Uso iría acompañado de un mayor nivel de Explicación, no obstante, como se menciona anteriormente, esto no tendió a ser así, y menos en un corto periodo de tiempo. No se garantiza la explicación verbal con el uso experimental, lo que sugiere que la presencia de información aparece como necesaria para dar cuenta del problema. Por tanto, es posible que, si se midiera en una nueva sesión con más tiempo de exposición o entrenamiento, estos dos componentes se equipararán y se correlacionarían con el tiempo.

Asimismo, los participantes en la condición de ID no mostraron necesariamente una tendencia rápida a mejorar la Explicación de la ECV. Esto podría deberse a que dependían casi

exclusivamente de la instrucción previa y de la información base presentada en los videos. Es decir, creemos que su dependencia de la información suministrada limitó la necesidad de buscar explicaciones externas o elaborar razonamientos más profundos a partir de su propio conocimiento, lo que resultó en un estancamiento en el dominio de Explicación para esta condición. En una línea similar, la Explicación en los participantes de la condición de IV mostró resultados mixtos. La mitad de ellos logró una mejora considerable en su capacidad de explicar y verbalizar la ECV (TJP6; más ejemplos en el apéndice H).

En estos casos de éxito, es posible que el participante se viera obligado a representarse mejor la tarea cognitivamente, lo que implicó reflexionar sobre su funcionamiento y el de sus variables. Al hacerlo, lograron identificar más fácilmente las relaciones de causa y efecto y, por lo tanto, verbalizarlas, lo cual se reflejó en una mejora de su Explicación, según visto en la codificación. Por otro lado, para la otra mitad de los participantes de IV, el desempeño menor en las explicaciones a lo largo de las sesiones puede atribuirse a que no estaban dispuestos a centrarse en la explicación (como en el caso de GL6). En su lugar, preferían continuar explorando activamente las tareas, quizás porque estas aún se percibían como inciertas o no resueltas, lo que se manifestaba en explicaciones confusas.

También, creemos que un aspecto esencial que ayudó a todos los participantes, independientemente de su condición, fue la retroalimentación en tiempo real intrínseca a cada tarea. Cada programa contaba con una indicación visual que le indicaba al participante si su intento coincidía con la consigna de la tarea (SB, ENG) o si la superaba (CT). Esta retroalimentación en tiempo real es, según concluyen Guevara et al. (2020), la diferencia crucial entre una enseñanza insuficiente y una sobresaliente. En cuanto al diseño de nuestro trabajo, quedó claro que, cuando hay instrucción y también retroalimentación del entorno, es muy

probable que al participante le vaya bien. Sin embargo, la instrucción también puede suponer una carga externa que no se procesa lo suficiente, por lo que el dominio conceptual no termina de estar a la altura de la fluidez procedimental. En cambio, cuando las variables del problema se representan, como en el caso de la actividad de invención, es más probable que se interioricen por el simple hecho de pensar más tiempo en sus efectos. Añadido a esto, la retroalimentación en tiempo real de la tarea hace que la fluidez procedimental aumente.

Continuando por esta línea, una consecuencia y posible falla del diseño fue no contar con el equivalente de retroalimentación a nivel de explicación. Dado que nos limitamos a escuchar las explicaciones de los participantes y hacerles preguntas sobre sus intentos, estos no tenían manera de revisar sus propias explicaciones o conocimiento directamente con alguien más en el momento de la aplicación. El efecto más notorio se evidenció en los participantes de IV, pues al no tener presente una retroalimentación de sus propias explicaciones, ni recibir el acompañamiento verbal proveniente de la instrucción, tuvieron que afrontar un nivel de ajuste mayor. No obstante, el caso no es el mismo con respecto al Uso, donde la retroalimentación provenía directamente del programa en la situación de la tarea.

Por último, teniendo en cuenta que en la última tarea física, la catapulta, se observaron mejoras en algunos participantes, nos sugiere que sí existió un ajuste fuera de la situación problema de las tareas. Es probable que los participantes hayan ajustado sus explicaciones en otros escenarios diferentes a las aplicaciones, donde debieron hacer uso de explicaciones más robustas para ser entendidos. Esto ayudó a consolidar aún más el dominio de la estrategia, ya que tuvieron más espacio para ajustarse a diferentes escenarios.

¿Cómo varían las trayectorias en la implementación de la ECV entre los participantes y a lo largo del tiempo en cada uno de ellos?

Las trayectorias de los participantes variaron significativamente y sus diferencias individuales se vieron marcadas por las perturbaciones en el sistema. Dichas perturbaciones se produjeron a causa de la incertidumbre y del nivel de acceso a la información pertinente. En el caso de los participantes de IV, la interacción dinámica entre la tarea y sus variables (es decir, con sus exigencias) y el estado actual de sus conocimientos hizo que sus decisiones se encaminaran más hacia la exploración y que cambiaran dentro de este ámbito, donde se producían saltos de una estrategia a otra con más frecuencia en el Uso. La interacción entre los niveles de Uso de la ECV era algo más variable e inestable. Por ejemplo, en la tarea de SB, dedicaron más tiempo a intentos menos funcionales, que tenían como objetivo explorar y comprender las capacidades del programa. A diferencia de los participantes de ID, cuyo enfoque fue más sistemático, reflejado en la mayor consistencia de la tendencia variable entre los niveles 3 y 4.

No obstante, consideramos que este enfoque sistemático de ID, acompañado de una comprensión estructurada, hace que su adaptación a la estrategia sea más directa, con trayectorias más predecibles, sin tantos picos o valles amplios en cuanto al Uso de la ECV (ver anexos de las gráficas). No creemos que se trate de un ‘conocimiento estático’, como se define en otros estudios sobre transferencia analógica (Klahr y Chen, 1999), sino que, en el caso de los participantes en ID, la homogeneidad y la estabilidad al inicio de las sesiones fue consecuencia de la falta de necesidad de embarcarse en patrones de búsqueda de información, pues ya contaban con este recurso externo en forma de instrucción (Cook et al, 2011). Aunque la

disposición a experimentar y probar nuevas posibilidades, fruto de la curiosidad de los niños, siempre estuvo presente.

En cambio, las trayectorias de los participantes de IV siguieron un curso de aprendizaje menos lineal, con muchos saltos de nivel y un ajuste progresivo a la necesidad de explorar de forma más activamente, incluso realizando menos intentos en promedio. Esto, a su vez, provocó más momentos de quiebre. Es decir, momentos en los que se disuelven las expectativas previas con estrategias del pasado y la autoorganización tiende a producirse más hacia las nuevas exigencias, como se observa en las tareas de SB y CT —estas tareas son las que presentan mayor variabilidad. En estos escenarios con características del mundo cotidiano con los que están familiarizados, pudo haberse presentado una competencia directa entre las estrategias más intuitivas del participante y la formalización de la ECV. Creemos que la inestabilidad y variabilidad de las trayectorias, especialmente en las tareas iniciales, fueron necesarias para la consolidación de un patrón robusto en la lógica de ECV (nivel 4). Se evidencia la manera en que se autoorganizan sus intentos encaminados hacia la formalización de la ECV. Por ejemplo, el participante TJP6 mostró variabilidad en su desempeño durante las tareas virtuales, donde la trayectoria inestable le sirvió de plataforma para autoorganizar sus intentos para la cuarta sesión.

En la condición de ID, la variabilidad observada en las explicaciones de la ECV fue mayor. Este hallazgo podría indicar que cuando los sujetos en esta condición se enfrentaban a problemas con consignas que iban en contravía de sus expectativas, les costaba más adaptar sus conceptos para dar explicaciones novedosas, lo que se indica por la mayor cantidad de puntajes en el nivel 0 que en IV. En contraste, la variabilidad en el Uso fue menor, lo que probablemente se debe a que la instrucción clara y directa proporcionó a los participantes una meta definida, facilitando la adhesión a un método de aplicación explícito.

Por otro lado, los participantes de la condición de IV mostraron un patrón de resultados opuesto. Se registró una mayor variabilidad en el uso, un fenómeno que puede explicarse por la necesidad de los participantes de poner a prueba sus propias hipótesis internas o porque la incertidumbre, inherente a la ausencia de instrucción previa, les obligó a ajustar sus estrategias y a experimentar de forma continua (Lamnina & Chase, 2019). Sin embargo, la variación en la Explicación fue menor. Esto sugiere que, al carecer de una base conceptual explícita (como la ofrecida por la instrucción), el dominio del concepto se fundamentó casi exclusivamente en las experiencias y las hipótesis previas que los participantes ya poseían sobre la tarea, limitando la dispersión de los resultados en esta métrica.

¿Se transfiere la ECV desde tareas virtuales a tareas físicas? ¿Qué pasó cuando dejaron de enfrentarse a una pantalla por un espacio físico abierto?

En el caso de ID, volvemos a basarnos en que la forma en que los participantes experimentaron y aplicaron la ECV nunca se trató de un conocimiento estático, sino que también pasaron por un proceso de *soft assembly* en el que se veía la interacción dinámica entre la estrategia y las posibilidades de acción de cada tarea o al pasar de una tarea a la siguiente. En este sentido, la instrucción directa también posibilitó la emergencia de patrones estables en forma de conocimiento más predecible, pero potencialmente más frágil ante cambios contextuales, ya que condicionaba a que los participantes dependieran constantemente del uso del conocimiento externo. Por lo tanto, la transferencia fue menos variable en el Uso, aunque sí se produjo una mejora en este dominio de la ECV.

En el caso de los participantes del grupo de IV, se observó una mayor habilidad para adaptar la estrategia ante los cambios contextuales, pasando de lo virtual a lo físico. Esto se

justifica en la mayor variabilidad observada en el momento de resolver los problemas y en la mejora en el Uso de la ECV, aunque no estuviera acompañada de una explicación tan consistente y al mismo nivel que en el grupo de ID. Consideramos que la actividad de invención funcionó como una plataforma de incubación para la autoorganización que preparaba a los participantes para gestionar la incertidumbre inherente a los sistemas materiales. El hecho de que se hubieran preparado con un mayor nivel de incertidumbre les garantizaba una mejor predisposición para afrontar la indeterminación de los sistemas materiales, como en la tarea de la catapulta. En otras palabras, el cambio no tuvo tanto impacto en esta condición como era lo esperado, porque tenían herramientas para lidiar con la incertidumbre y el cambio contextual.

En términos generales, consideramos que la tarea de catapulta no supuso una barrera para ninguna de las condiciones. Más bien, al contrario, fue un momento de invitación a la exploración y a adoptar patrones de curiosidad con respecto al cambio contextual que estaban experimentando. El hecho de que los participantes de IV llegaran a la misma meta de puntajes en niveles altos, puede deberse que al haber tenido que "inventar" y lidiar con la incertidumbre conceptual previamente, los niños desarrollaran una mayor sensibilidad a las *affordances* (posibilidades de acción) del entorno real. Esto les permitió adaptar la lógica de la ECV a la estimulación del mundo físico (fricción, peso real, manipulación manual) de manera similar a ID — aunque les tomara más tiempo— quienes también tendieron a mejorar, pero a ser más rígidos en su aplicación.

También, al no tener un punto de comparación como los participantes de ID, al cual poder emular, la construcción de la ECV se realizó, como se menciona en la literatura, ‘de abajo hacia arriba’ (Kunnen, 2012). Esta emergió como una solución estable, quizás un posible estado atractor, ante la necesidad de resolver la incertidumbre de los problemas. Por lo tanto,

basándonos en los resultados y en los hallazgos concretados en la discusión, concluimos que la estrategia se transfirió con éxito a ambas condiciones, aunque una se haya visto más caracterizada por una adopción rápida y predecible (en el caso de ID) y la otra por la exploración inventiva (en el caso de la condición de IV).

Para futuras investigaciones

Un hallazgo cualitativo relevante de este estudio radica en la distinción entre el éxito técnico en la resolución del problema y la disposición hacia la experimentación. Los resultados indicaron que, a pesar de que algunos niños no resolvieron los problemas correcta y técnicamente no obtuvieron una calificación positiva, demostraron una notable disposición para experimentar que no se captura en números. Se observó consistentemente una actitud de curiosidad e interés por realizar comparaciones, incluso si estas resultaban tener factores de confusión desde la definición académica del término. Casos particulares, como el del participante TJP6, muestran que, aunque no logró descifrar las variables con precisión, mantuvo una actitud curiosa constante hacia la experimentación y un deseo manifiesto de aprender.

Estas observaciones invitan a reexaminar la literatura previa, específicamente los trabajos que sugerían que la relación entre curiosidad y transferencia podría ser espuria. Sin embargo, bajo la perspectiva de los Sistemas Dinámicos Complejos, nuestros hallazgos sugieren que la curiosidad no es un mero subproducto, sino que actúa como un *estado atractor* que posibilita la experimentación. Cuando los niños se enfrentaron a la incertidumbre, la curiosidad emergió como el mecanismo de autoorganización que les permitió mantenerse en la tarea, estabilizando su conducta exploratoria frente a la novedad o el cambio.

La naturaleza dinámica de esta transferencia se hizo evidente en la capacidad de los niños para adaptar sus estrategias más allá de lo instruido, mostrando un proceso de ensamblaje blando (*soft-assembly*). Por ejemplo, en la tarea física, la participante DIP6 decidió alterar los materiales disponibles combinando los proyectiles; al añadir un clip, una tapa y una moneda a una bola de papel, modificó el peso para alcanzar una distancia menor, ajustando así las variables según su propia hipótesis para resolver el problema experimentalmente. Por otro lado, en las tareas virtuales, participantes como M5 mostraron un deseo de seguir probando más allá de los límites del software, realizando movimientos no programados explícitamente —como conectar engranajes adicionales por encima del central— para ampliar la red de movimiento incluso después de completar la consigna.

No obstante, es necesario reconocer ciertas limitaciones técnicas encontradas durante la implementación con algunas tareas virtuales, las cuales pudieron influir en la fluidez de la interacción de los niños con el software. Si bien el diseño buscó la equivalencia entre los formatos, las dificultades de interfaz en momentos puntuales podrían haber generado barreras en la ejecución que no reflejan necesariamente una falta de comprensión conceptual por parte de los participantes. Las limitaciones del software, por un lado, fueron las restricciones necesarias para desatar la actividad de experimentación en los niños, pero a su vez mostraron ser una barrera que impedía la relación directa entre la percepción directa del niño —sus posibilidades de acción (Gibson, 2014)— y los movimientos legales de la tarea. Algo que ciertamente reaviva la discusión entre la equivalencia homóloga de las tareas virtuales y físicas.

A la luz de estos hallazgos y limitaciones, se sugiere que futuras investigaciones exploren tecnologías más inmersivas y avanzadas, como las gafas de realidad virtual, que podrían facilitar

una manipulación más intuitiva. Asimismo, para profundizar en el debate pedagógico sobre la invención, sería valioso implementar un diseño ampliado que evalúe explícitamente qué sucede cuando los participantes pasan primero por una fase de invención y luego reciben inmediatamente instrucción directa, permitiendo comparar estos resultados combinados con las condiciones por separado. Consideramos que una combinación de incertidumbre e instrucción inmediata podría ser el nivel óptimo para la transferencia de estrategias de experimentación.

Referencias

- Alison, L., Power, N., van den Heuvel, C., & Waring, S. (2015). A taxonomy of endogenous and exogenous uncertainty in high-risk, high-impact contexts. *Journal of Applied Psychology*, *100*(4), 1309–1318. <https://doi.org/10.1037/a0038591>
- Anderson, E. C., Carleton, R. N., Diefenbach, M., & Han, P. K. J. (2019). The relationship between uncertainty and affect. *Frontiers in Psychology*, *10*. <https://doi-org.libproxy.temple.edu/10.3389/fpsyg.2019.02504>
- Bornstein, A. M., Aly, M., Feng, Samuel F. G., Turk-Browne, N. B., Norman, K., & Cohen, J. D. (2023). Associative memory retrieval modulates upcoming perceptual decisions. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*. <https://doi.org/10.1101/186817>
- Bramley, S., Wulf, J., Lober, U., & Rehder, B. (2022). Children's failure to control variables may reflect adaptive decision-making. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *119*(50), e2207174119. Recuperado de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9722808/>
- Chase, H. W., & Klahr, D. (2017). Investigating the mechanisms of learning from a constrained preparation for future learning activity.

- Chen, Z., & Klahr, D. (2008). Remote transfer of scientific-reasoning and problem-solving strategies in children. In R. V. Kail (Ed.), *Advances in child development and behavior*, 419–470. Elsevier Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2407\(08\)00010-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2407(08)00010-4)
- Cook, C., Goodman, N. D., & Schulz, L. E. (2011). Where science starts: Spontaneous experiments in preschoolers' exploratory play. *Cognition*, 120(3), 341–349. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.03.003>
- Congreso de la República de Colombia. (2012, 17 de octubre). Ley estatutaria 1581 de 2012, por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales. *Diario Oficial* 48.587. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49981>
- Dean, D., Jr., & Kuhn, D. (2007). Direct instruction vs. discovery: The long view. *Science Education*, 91(3), 384–397. <https://doi.org/10.1002/sce.20194>
- Dong, J. (2016). A dynamic systems theory approach to development of listening strategy use and listening performance. *System* 63, 149–165. <https://doi.org/10.1016/j.system.2016.10.004>
- ELAN (Versión 7.0) [Software de computadora]. (2025). Max Planck Institute for Psycholinguistics, The Language Archive. <https://archive.mpi.nl/tla/elan>
- Ellsberg, D. (1961). Risk, Ambiguity, and the Savage Axioms. *The Quarterly Journal of Economics*, 75(4), 643–669. <https://doi.org/10.2307/1884324>
- Evans, N. S., Todaro, R. D., Golinkoff, R. M., y Hirsh-Pasek, K. (2022). Getting comfortable with uncertainty: The road to creativity in preschool children. En R. A. Beghetto y G. J. Jaeger (Eds.), *Uncertainty: A catalyst for creativity, learning and development*, Springer, 237–258 https://doi.org/10.1007/978-3-030-98729-9_13

- Fiore, S. M., Rosen, M. A., Smith-Jentsch, K. A., Salas, E., Letsky, M., & Warner, N. (2010). Toward an understanding of macrocognition in teams: Predicting processes in complex collaborative contexts. *Human Factors*, 52, 203–224.
<http://dx.doi.org/10.1177/0018720810369807>
- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7(2), 155–170. https://doi.org/10.1207/s15516709cog0702_3
- Gibson, J.J. (2014). The Ecological Approach to Visual Perception: Classic Edition, (1). *Psychology Press*. <https://doi.org/10.4324/9781315740218>
- Goddu, M. K., Lombrozo, T., & Gopnik, A. (2020). Transformations and transfer: Preschool children understand abstract relations and reason analogically in a causal task. *Child development*, 91(6), 1898-1915. <https://doi.org/10.1111/cdev.13412>
- Guerrero, G., Tecpan, S., Rojas, S., & Joglar, C. (2020). Caracterización del nivel de razonamiento científico en futuros profesores: desafíos para la formación inicial docente. *Formación Universitaria*, 13(5), 45-56. <https://doi.org/10.4067/s0718-50062020000500045>
- Guevara, M., Rojas Ospina, T., & van Geert, P. (2020). Understanding transfer from a dynamic system approach: Two studies of children using problem-solving tasks. *Cogent Education*, 7(1), Article 1814512. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2020.1814512>
- Guevara, M., van Dijk, M., & van Geert, P. (2016). Microdevelopment of peer interactions and scientific reasoning in young children / Microdesarrollo de la interacción entre pares y el razonamiento científico en niños pequeños. *Journal for the Study of Education and Development: Infancia y Aprendizaje*, 39(4), 727-771.
<https://doi.org/10.1080/02103702.2016.1215083>

- Grinstead, C. M., & Snell, J. L. (2012). *Introduction to probability*. American Mathematical Soc.
- Holyoak, K. J. (2012). Analogy and relational reasoning. En: K. J. Holyoak & R. G. Morrison (Eds.), *The Oxford handbook of thinking and reasoning*, 234–259. Oxford University Press.
- Justo, E., Delgado, A., Llorente-Cejudo, C., Aguilar, R., & Cabero-Almenara, J. (2022). The effectiveness of physical and virtual manipulatives on learning and motivation in structural engineering. *Journal of Engineering Education*, 111(4), 813-851. <https://doi.org/bd.univalle.edu.co/10.1002/jee.20482>
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*, 47(2), 263–291. <https://doi.org/10.2307/1914185>
- Kapur, M. (2016). Productive Failure and the New Frontiers of Psychology Education. *Psychological Science Observer*.
<https://www.psychologicalscience.org/observer/productive-failure-new-frontiers>
- Klahr, D. & Chen, Z. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the Control of Variables Strategy. *Child Development*, 70(5), 1098–1120.
<https://doi.org/10.1111/1467-8624.00081>
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12(1), 1–48. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1201_1
- Klahr, D., & Chen, Z. (2011). Finding one's place in transfer space. *Child Development Perspectives*, 5(3), 196–204. <https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2011.00171.x>
- Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction: Effect of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15(10), 661–667. <http://lexiconic.net/pedagogy/KlahrNigam.PsychSci.pdf>

- Klahr, D., Triona, L.M. and Williams, C. (2007), Hands on what? The relative effectiveness of physical versus virtual materials in an engineering design project by middle school children. *J. Res. Sci. Teach.*, 44: 183-203. <https://doi.org/10.1002/tea.20152>
- Klahr, D., & Chen, Z. (2011). Finding one's place in transfer space. *Child Development Perspectives*, 5(3), 196–204. <https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2011.00171.x>
- Klahr, D., Zimmerman, C., & Matlen, B. J. (2019). Improving students' scientific thinking. In J. Dunlosky & K. A. Rawson (Eds.), *The Cambridge handbook of cognition and education*, Cambridge University Press. 67–99. <https://doi.org/10.1017/9781108235631.005>
- Köksal-Tuncer, Ö., & Sodian, B. (2018). The development of scientific reasoning: Hypothesis testing and argumentation from evidence in young children. *Cognitive Development*, 48, 135–145. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2018.06.011>
- Kuhn, D., & Pease, M. (2008). What needs to develop in the development of inquiry skills? *Cognition and Instruction*, 26(4), 512–559.
- Kunnen, S. (2012). A dynamic systems approach to adolescent development. *Psychology Press*.
- Lamnina, M., & Chase, C.C. (2019). Developing a thirst for knowledge: How uncertainty in the classroom influences curiosity, affect, learning, and transfer. *Contemporary Educational Psychology*, 59, Artículo 101785. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2019.101785>
- Lamnina, M., Chase, C.C. (2021). Uncertain instruction: effects on curiosity, learning, and transfer. *Instr Sci* 49, 661–685. <https://doi.org/10.1007/s11251-021-09557-2>
- Lapidow, E., Killeen, M., & Walker, C. M. (2022). Exploration Decisions Precede and Improve Explicit Uncertainty Judgments in Preschoolers. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 44(44).

- Lapidow, E., & Walker, C. M. (2024). Learners' causal intuitions explain behavior in control of variables tasks.
- Levy, I., Schiller, D. (2023). Uncertainty in learning and decision-making: Introduction to the special issue. *Cogn Affect Behav Neurosci* **23**, 459–464. <https://doi.org/10.3758/s13415-023-01111-6>
- Lipshitz, R., & Strauss, O. (1997). Coping with uncertainty: A naturalistic decision-making analysis. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 69(2), 149–163. <https://doi.org/10.1006/obhd.1997.2679>
- Lorch, R. F. (2014). Using Valid and Invalid Experimental Designs to Teach the Control of Variables Strategy in Higher and Lower Achieving Classrooms. *ResearchGate*. [10.1037/a0034375](https://doi.org/10.1037/a0034375)
- Manz, E. (2018). Supporting teachers to negotiate uncertainty for science, students, and teaching. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/324985025_Supporting_teachers_to_negotiate_uncertainty_for_science_students_and_teaching
- Montes, E. R., van Dijk, M., Puche, R., & van Geert, P. L. C. (2017). Trajectories of scientific reasoning: A microgenetic study on children's inquiry functioning. *Frontiers in Psychology*, 8.
- Morris, D. (2012). The sense of space. *State University of New York Press*. <https://doi.org/10.1515/9780791484593>
- Mushtaq F, Bland AR and Schaefer A (2011) Uncertainty and cognitive control. *Front. Psychology* 2:249. <https://doi.org/10.1177/0018720810369807>
- Piaget, J. (1970). Genetic epistemology. *Columbia University Press*.

OBS Project. (2025). *OBS Studio* (Versión 30.1.2) [Software de computadora].

<https://obsproject.com/>

Ødegaard, E. (2020). Dialogical Engagement and the Co-Creation of Cultures of Exploration, En: Hedegaard, M., Eriksen Ødegaard, E. (eds) *Children's Exploration and Cultural Formation. International Perspectives on Early Childhood Education and Development*, vol 29. *Springer*, 83-104. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36271-3_6

Ordoñez, O. (2003). Hipótesis, experimentos e inferencias en el niño: una propuesta de análisis. En B. C. Orozco (Ed.), *El niño: científico, lector y escritor, matemático. Artes Gráficas del Valle Editores*, 41–69.

Ordoñez, O. (2020). El desarrollo temprano de la curiosidad científica: Por una pedagogía de la indagación en la educación inicial. *Centro de Investigaciones en Psicología, Cognición y Cultura. Universidad del Valle*. https://www.researchgate.net/profile/Oscar_Ordenez-Morales

Ordoñez, O. (2025). Variabilidad intraindividual y cambio en las estrategias de razonamiento causal en niños. [Tesis doctoral sin publicar]. Programa de Doctorado en Psicología, Universidad del Valle. Cali, Colombia.

Peteranderl, S, Edelsbrunner, PA (2020) The Predictive Value of Children's Understanding of Indeterminacy and Confounding for Later Mastery of the Control-of-Variables Strategy. *Front. Psychol.* 11:531565. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.531565>

PhET Interactive Simulations. (s. f.). Balancing act [Simulación interactiva]. *University of Colorado Boulder*. <https://phet.colorado.edu/es/simulations/balancing-act>

- Piekny, J., & Maehler, C. (2013). Scientific reasoning in early and middle childhood: the development of domain-general evidence evaluation, experimentation, and hypothesis generation skills. *The British journal of developmental psychology*, 31(Pt 2), 153–179. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.2012.02082.x>
- Rose, F.D., Attree, E.A., Brooks, B.M., Parslow, D.M., & Penn, P. (2000). Training in virtual environments: transfer to real world tasks and equivalence to real task training. *Ergonomics*, 43, 494 - 511. <https://doi.org/10.1080/001401300184378>
- Schlatter, E., Lazonder, A. W., Molenaar, I., & Janssen, N. (2021). Individual Differences in Children's Scientific Reasoning. *Education Sciences*, 11(9), 471. <https://doi.org/10.3390/educsci11090471>
- Schwartz, D. L., Chase, C. C., Oppezzo, M. A., & Chin, D. B. (2011). Practicing versus inventing with contrasting cases: The effects of telling first on learning and transfer. *Journal of Educational Psychology*, 103(4), 759–775. <https://doi.org/10.1037/a0025140>
- Schwartz, D. L., Martin, T., & Pfaffman, J. (2005). How Mathematics Propels the Development of Physical Knowledge. *Journal of Cognition and Development*, 6(1), 65–88. https://doi.org/10.1207/s15327647jcd0601_5
- Siegler R. S. (2000). The rebirth of children's learning. *Child development*, 71(1), 26–35. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00115>
- Singley, M. K., & Anderson, J. R. (1989). *The transfer of cognitive skill*. Harvard University Press.
- Sørensen, H. V., & Birkeland, Å. (2020). Children's exploratory activities in the kindergarten playgrounds: A dynamic systems approach. En B. Ødegaard & Å. Birkeland (Eds.),

Children's exploration and cultural formation (pp. 71–89). Springer.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-36271-3_4

Stebbins, R. A. (2001). *Exploratory research in the social sciences*. SAGE Publications, Inc.,

<https://doi.org/10.4135/9781412984249>

Thelen, E., & Smith, L. B. (1994). *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/2524.001.0001>

Topel, S., Ma, I., Sleutels, J. *et al.* Expecting the unexpected: a review of learning under uncertainty across development. *Cogn Affect Behav Neurosci* **23**, 718–738 (2023).

<https://doi.org/10.3758/s13415-023-01098-0>

Triona, L. M., & Klahr, D. (2003). Point and Click or Grab and Heft: Comparing the Influence of Physical and Virtual Instructional Materials on Elementary School Students' Ability to Design Experiments. *Cognition and Instruction*, *21*(2), 149–173.

https://doi.org/10.1207/S1532690XCI2102_02

Tschirgi, J. E. (1980). Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses. *Child Development*, *51*(1), 1–10. <https://doi.org/10.2307/1129583>

Valencia, A.I. (2014). El cambio en estrategias de experimentación. *Universidad del Valle*.

van Dijk, M. W. G. (2021). A complex dynamical systems approach to the development of feeding problems in early childhood. *Appetite*, *157*, Article 104982.

<https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.104982>

Van Geert, P. (1991). A dynamic systems model of cognitive and language growth. *Psychological Review*, *98*(1), 3–53. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.98.1.3>

Van Geert, P. (1994). *Dynamic systems of development: Change between complexity and chaos*. Harvester Wheatsheaf.

- Van Geert, P., & Steenbeek, H. (2015). Dynamic systems theory: a tool for understanding development and education. *Lectica*.
- van den Heuvel, C., Alison, L., & Power, N. (2014). Coping with uncertainty: Police strategies for resilient decision-making and action implementation. *Cognition, Technology & Work*, 16(1), 25–45. <https://doi.org/10.1007/s10111-012-0241-8>
- Willemsen, R. H., de Vink, I. C., Kroesbergen, E. H., & Lazonder, A. W. (2023, August 2). The role of creative thinking in children's scientific reasoning. *Thinking Skills and Creativity*, <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101375>
- Whitmer, D. E., Ullman, D., & Johnson, C. I. (2019). Virtual Reality Training Improves Real-World Performance on a Speeded Task. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 63(1), 1218-1222. <https://doi.org/10.1177/1071181319631013>
- Zimmerman, C., & Glaser, R. (2001). *Testing positive versus negative claims: A preliminary investigation of the role of cover story on the assessment of experimental design skills* (CSE Technical Report 554). National Center for Research on Evaluation, Standards, and Student Testing (CRESST).
- Zimmerman, C. (2005). The development of scientific reasoning skills: What psychologists contribute to an understanding of elementary science learning. *Final draft of a report to the National Research Council Committee on science learning kindergarten through eight grade*. <http://dx.doi.org/10.1006/drev.1999.0497>

Apéndices

1. [Apéndices del A al G.](#)
2. [Apéndice H. Codificación de los datos.](#)