

El problema oculto de la transferencia: por qué reproducir un procedimiento no es reproducir un resultado

Juan Seguro

3Dresyns by Resyner Technologies S.L.

© 2026 Juan Seguro. Todos los derechos reservados.

Correspondencia: info@3Dresyns.com · www.3Dresyns.com

HEB-015 · Artículo técnico independiente · Versión v0.3

DOI: 10.5281/zenodo.22915501

Resumen

Un procedimiento escrito puede reproducirse línea por línea mientras cambia el experimento físico. Instrumentos, operadores, estados ambientales, lotes de material, geometrías, tiempos, implementaciones de software y prácticas locales diferentes pueden alterar el sistema de medición incluso cuando el protocolo nominal es idéntico. A la inversa, dos laboratorios pueden utilizar procedimientos diferentes y aun así realizar estados físicos equivalentes. El problema oculto de la transferencia es la suposición de que la identidad procedimental garantiza la identidad de resultados. Este artículo metodológico separa la reproducibilidad documental de la equivalencia física y explica por qué la transferencia requiere un control explícito de las variables de estado que sostienen la afirmación científica. La proposición central es que un protocolo es una receta para intentar recrear un sistema de medición, no una prueba de que el mismo sistema de medición haya sido realmente recreado.

Palabras clave: transferencia; reproducibilidad; transferencia de método; protocolo; laboratorio; operador; equipo; equivalencia de proceso; variable tácita; robustez

1. Propósito y límite de evidencia

HEB-001 establece que la reproducibilidad de un procedimiento no es lo mismo que la validez de un procedimiento [1]. ER-005 conserva el problema de reproducibilidad de la *working curve* [2], y ER-209 conserva el diseño de ejercicios interlaboratorio [3]. HEB-015 formula la pregunta inferencial más general: ¿qué estado físico debe sobrevivir cuando se transfiere un método o resultado?

2. Los pasos escritos omiten el estado físico

Un protocolo puede especificar tiempo de exposición pero no espectro entregado, tiempo de mezclado pero no homogeneidad alcanzada, temperatura ambiente pero no temperatura de la probeta, tiempo de limpieza pero no estado de transferencia de masa. La acción escrita y la condición física realizada son niveles de descripción diferentes.

3. Las variables tácitas viajan a través de las personas

Los métodos de laboratorio se aprenden a menudo por demostración. Con qué intensidad se mezcla una muestra, como se juzga limpia una superficie, como se posiciona una probeta o cuando se considera estable un instrumento pueden no aparecer en el documento. La transferencia expone estas variables tácitas porque un segundo operador o laboratorio ya no comparte los mismos hábitos locales.

4. La equivalencia de equipo no es equivalencia de nombre de modelo

Dos instrumentos del mismo modelo pueden diferir en calibración, desgaste, alineación óptica, fijaciones, versión de software y entorno. Dos instrumentos diferentes pueden a veces producir estados de medición equivalentes si se igualan los mensurandos relevantes. La transferencia debe comparar, por tanto, variables físicas entregadas y no solo etiquetas de marca [4].

5. Identidad de material no es identidad de estado

Un lote común de resina reduce una fuente de variación, pero no garantiza temperatura común, historia de oxígeno, envejecimiento, mezclado, orientación de fabricación o postprocesado comunes. La lección más amplia es que la identidad del material es solo una coordenada del estado experimental. ER-209 conserva la arquitectura específica de aplicación para *round-robin* [3].

6. La herencia de protocolo puede conservar el mismo error

Un procedimiento que contiene una variable no controlada puede reproducirse fielmente y propagar el mismo sesgo. La concordancia entre laboratorios es evidencia valiosa de reproducibilidad, pero no establece por sí sola veracidad. Un error común puede transferirse extraordinariamente bien [5].

7. La transferencia requiere mensurandos ancla

La estrategia de transferencia más fuerte identifica las magnitudes físicas que deben ser equivalentes para la afirmación: irradiancia espectral, temperatura, geometría, concentración, tiempo, estado de la probeta, relación de referencia u otra variable de estado. El procedimiento puede variar localmente siempre que esos anclajes permanezcan dentro de límites definidos.

8. La transferencia tiene niveles

Un método puede transferirse entre operadores de un instrumento, entre instrumentos de un laboratorio, entre laboratorios, entre lotes de material, entre escalas o entre estados de aplicación. El éxito en un nivel no establece el éxito en el siguiente. La población de transferencia prevista debe definirse antes de la afirmación de validación.

9. Las desviaciones pueden ser informativas

Cuando fallá un método transferido, la diferencia entre centros es evidencia. En lugar de forzar el cumplimiento mediante ajustes no documentados, compare variables de estado e identifique que divergencia predice el resultado. Los estudios de transferencia son, por tanto, experimentos diagnósticos sobre variables ocultas tanto como demostraciones de reproducibilidad.

10. Preguntas que debe responder una afirmación de transferencia

Una afirmación de transferencia debe permitir preguntar: ¿qué propósito científico se está transfiriendo? ¿Qué estados físicos y mensurandos ancla importan? ¿Qué variables eran simplemente ajustes documentales y cuales se demostró que controlaban el resultado? ¿Qué evidencia demostraría que la implementación receptora recrea el estado relevante para la afirmación? Son preguntas inferenciales, no una lista universal de cualificación; las reglas de aceptación específicas de método permanecen en los Engineering Reviews correspondientes.

11. La evidencia interlaboratorio revela variables ocultas de transferencia

Estudios interlaboratorio publicados sobre working curves muestran que puede persistir una dispersión sustancial cuando el procedimiento, el estado del motor de luz y la ejecución de la medición difieren entre laboratorios [6,7]. Su valor aquí es diagnóstico: el desacuerdo puede revelar una variable oculta de transferencia y no simplemente una instrucción mal copiada.

12. La evidencia de equivalencia debe seguir siendo inspeccionable

Un argumento de transferencia defendible debe dejar una cadena inspeccionable entre cada estado declarado equivalente y la evidencia utilizada para sustentarlo. El punto científico no es prescribir una matriz o tabla de tolerancias, sino impedir que una afirmación vaga de equivalencia vaya más allá de las mediciones que conectan los sistemas original y receptor.

13. Robustez y equivalencia son afirmaciones de transferencia diferentes

Un método robusto tolera variación acotada sin cambiar la conclusión. Un método equivalente puede utilizar un procedimiento diferente para realizar el mismo estado relevante para la decisión. Estas ideas se solapan, pero no son idénticas. Demostrar robustez frente al tiempo del operador, por ejemplo, no demuestra equivalencia entre dos instrumentos con respuestas espectrales distintas. A la inversa, dos instrumentos pueden hacerse equivalentes para un mensurando y seguir siendo cada uno sensible a variación ambiental local. Los planes de transferencia deben declarar, por tanto, si buscan robustez dentro de un método, equivalencia entre implementaciones o ambas. Difuminar los términos puede conducir a un estudio de validación que responda la pregunta de transferencia equivocada.

14. El centro receptor debe desafiar, no limitarse a imitar

Un ejercicio de transferencia fuerte incluye perturbaciones deliberadas en el centro receptor. Pequeños cambios predefinidos en operador, día, instrumento, lote de material o entorno pueden revelar si el método está realmente controlado o solo funciona bajo una condición estrecha no documentada. El objetivo no es hacer fallar al laboratorio receptor. Es establecer que variaciones son benignas y cuales requieren control más estricto. Esto convierte la

transferencia desde una reproducción ceremonial del protocolo de origen en un experimento sobre la ventana operativa del método. Un método que sobrevive a desafíos acotados es más transferible que uno que funciona una sola vez bajo condiciones fuertemente guiadas.

15. Conclusiones

La identidad procedimental no es necesaria ni suficiente para la equivalencia física. La transferencia tiene éxito cuando las variables que sostienen la afirmación científica se recrean dentro de límites demostrados y el resultado permanece robusto frente a la variación local permitida. El problema oculto de la transferencia se controla validando el estado, no simplemente copiando pasos.

Referencias

- [1] Segurola, J. The Hidden Error Budget: Measurement-System Failure, False Precision and Experimental Design in Laboratory Science. HEB-001. 3Dresyns Independent Technical Articles (2026). DOI: 10.5281/zenodo.22862642.
- [2] Segurola, J. Reproducibility limits of working-curve characterisation in vat photopolymerisation: a methodological perspective. ER-005. Zenodo (2026). Concept DOI: 10.5281/zenodo.21996935.
- [3] Segurola, J. Interlaboratory Round-Robin Design for Vat-Photopolymer Materials. ER-209. 3Dresyns Engineering Publications (2026). Versión DOI: 10.5281/zenodo.22862020.
- [4] Segurola, J. Radiometric and Actinometric Traceability for Photopolymer Processing. ER-203. 3Dresyns Engineering Publications (2026). Versión DOI: 10.5281/zenodo.22842498.
- [5] Joint Committee for Guides in Metrology. International Vocabulary of Metrology - Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM), 3rd ed., JCGM 200:2012. DOI: 10.59161/JCGM200-2012.
- [6] Kolibaba, T. J.; Killgore, J. P.; Caplins, B. W.; Higgins, C. I.; Arp, U.; Miller, C. C.; Poster, D. L.; Zong, Y.; Broce, S.; Wang, T.; Talačka, V.; Andersson, J.; Davenport, A.; Panzer, M. A.; Tumbleston, J. R.; Gonzalez, J. M.; Huffstetler, J.; Lund, B. R.; Billerbeck, K.; Clay, A. M.; Fratacangeli, M. R.; Qi, H. J.; Porcincula, D. H.; Bezek, L. B.; Kikuta, K.; Pearlson, M. N.; Walker, D. A.; Long, C. J.; Hasa, E.; Aguirre-Soto, A.; Celis-Guzman, A.; Backman, D. E.; Lalitha Sridhar, R.; Cavicchi, K. A.; Viereckl, R. J.; Tong, E.; Hansen, C. J.; Shah, D. M.; Kinane, C.; Pena-Francesch, A.; Antonini, C.; Chaudhary, R.; Muraca, G.; Bensouda, Y.; Zhang, Y.; Zhao, X. Results of an interlaboratory study on the working curve in vat photopolymerization. Additive Manufacturing 84 (2024) 104082. DOI: 10.1016/j.addma.2024.104082.
- [7] Kolibaba, T. J.; Killgore, J. P.; Caplins, B. W.; Wendland, R. J.; Arp, U.; Miller, C. C.; Zong, Y.; Higgins, C. I.; Sharp, J. L.; Broce, S.; Wang, T.; Talačka, V.; Ilginis, A.; Andersson, J.; Davenport, A.; Panzer, M. A.; Gonzalez, J. M.; Bui-Nguyen, M.-D.; Nickoloff, R.; Billerbeck, K.; Clay, A. M.; Fratacangeli, M. R.; Qi, H. J.; Porcincula, D. H.; Bezek, L. B.; Babcock, D.; Kohlbush, B.; Kikuta, K.; Pearlson, M. N.; Walker, D. A.; Hasa, E.; Aguirre-Soto, A.; Celis-Guzman, A.; Shah, D. M.; Backman, D. E.; Lalitha Sridhar, R.; Cavicchi, K. A.; Viereckl, R. J.; Tong, E.; Hansen, C. J.; Harms, C.; Pena-Francesch, A.; Antonini, C.; Chaudhary, R.; Muraca, G.; Bensouda, Y.; Zhang, Y.; Zhao, X.; Allonas, X. Results of an interlaboratory study on the working curve in vat photopolymerization II: Towards a standardized method. Additive Manufacturing 110 (2025) 104919. DOI: 10.1016/j.addma.2025.104919.

Limite de conocimiento

HEB-015 trata la distinción general entre reproducción procedimental y transferencia física. ER-005, ER-203 y ER-209 conservan sus alcances específicos de cualificación de working curve, radiometría e interlaboratorio.

Limitaciones

Este artículo metodológico es una síntesis acotada de los corpus controlados HEB y Engineering Review. No informa de un nuevo conjunto de datos experimental, no establece umbrales numéricos universales y no convierte ejemplos de un dominio en especificaciones aplicables a todas las aplicaciones. Las afirmaciones que requieren cualificación específica de aplicación permanecen en la revisión técnica o estudio primario correspondiente.