

El problema oculto del tiempo: el estado presente de un experimento depende de cómo se alcanzó

Juan Segurola

3Dresyns by Resyner Technologies S.L.

© 2026 Juan Segurola. Todos los derechos reservados.

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

HEB-011 · Artículo técnico independiente · Versión v0.3

DOI: 10.5281/zenodo.22915275

Resumen

Los experimentos se analizan a menudo como si cada observación dependiera solo de las variables registradas en el momento de la medición. Muchos sistemas conservan memoria. Los instrumentos se calientan, las referencias derivan, los materiales reactivos envejecen, los disolventes se evaporan, el oxígeno se consume y se repone, las redes siguen evolucionando, las superficies se acondicionan y los operadores modifican la secuencia mediante la manipulación. Por tanto, dos probetas pueden compartir las mismas condiciones nominales actuales y encontrarse en estados físicos diferentes porque llegaron a ellas por trayectorias distintas. Este artículo metodológico desarrolla el problema oculto del tiempo: el fallo que aparece cuando la historia experimental se trata como irrelevante. La proposición central es que el tiempo no es simplemente una coordenada en la tabla de datos; en un sistema dependiente de la trayectoria forma parte de la definición del estado.

Palabras clave: deriva; histeresis; envejecimiento; calentamiento; efecto de secuencia; dependencia de la historia; tiempo; dependencia de trayectoria; estabilidad

1. Propósito y límite de evidencia

HEB-001 documenta deriva de referencias, equilibrado instrumental y dependencia temporal del entorno [1]. ER-174 trata la detección de deriva del estado óptico en equipos VPP [3]. HEB-011 generaliza el problema de razonamiento a la ciencia experimental.

2. Los ajustes actuales no definen de forma única el estado actual

Una lectura del termostato de 25 °C no demuestra que el instrumento, la probeta y la estructura circundante estén en equilibrio térmico [2]. Una resina almacenada durante un día y otra almacenada durante seis meses pueden medirse a la misma temperatura y diferir química o físicamente. Por tanto, las variables de estado pueden requerir descriptores históricos además de los ajustes instantáneos.

3. El calentamiento es un transitorio, no una etiqueta de molestia

La respuesta instrumental puede cambiar tras el encendido mientras la electrónica, las lámparas, los detectores, la óptica y las carcasas se aproximan al estado térmico estacionario. Si las muestras se miden en un orden fijo durante este transitorio, el orden de ejecución queda correlacionado con el estado del instrumento. Repetir el mismo orden puede reproducir consistentemente el sesgo.

4. La deriva es distinta del envejecimiento

ER-174 separa no uniformidad basal, deriva y envejecimiento: la deriva es un cambio respaldado respecto a la línea base, mientras que el envejecimiento atribuye ese cambio a un mecanismo dependiente del tiempo o del uso [3]. Esta distinción es general. Observar un cambio no identifica su causa. Reposicionamiento, contaminación, calentamiento y cambios ambientales pueden imitar envejecimiento a largo plazo.

5. Los efectos de secuencia pueden crear efectos aparentes de tratamiento

Si las muestras de bajo nivel se miden siempre primero y las de alto nivel al final mientras la respuesta deriva hacia arriba, la secuencia puede generar o amplificar un efecto aparente de concentración. El orden aleatorizado rompe la alineación sistemática, mientras que las referencias de bracketing pueden hacer visible la deriva local. Ninguna estrategia demuestra estacionariedad; reducen o diagnostican un modo de fallo concreto.

6. Los materiales tienen historias

Las formulaciones reactivas pueden cambiar por consumo de inhibidor, captación de oxígeno, evaporación, evolución de fase o reacciones lentas. Las redes curadas pueden continuar postcurando, relajar tensiones, absorber agua o

envejecer físicamente. Por tanto, una composición nominal no siempre es una descripción completa del estado. El tiempo de almacenamiento, la temperatura y la exposición previa pueden ser variables experimentales incluso cuando no se pretendía que fueran factores.

7. La histeresis significa que importa la ruta

En un sistema histerético, la respuesta a una entrada dada depende de si esa entrada se alcanza desde arriba o desde abajo o del ciclado previo. Calentamiento y enfriamiento, carga y descarga, humectación y secado, exposición y recuperación en oscuridad pueden producir trayectorias diferentes. Una única curva de apariencia de equilibrio puede ocultar esta memoria.

8. El tiempo puede acomodarse a la validez de la referencia

El caso de rendimiento cuántico de HEB-001 muestra que una referencia químicamente correcta medida horas antes o después de la muestra desconocida puede convertirse en metrológicamente inadecuada si cambia la respuesta instrumental [1]. La proximidad temporal forma, por tanto, parte de la validez de una referencia siempre que no se haya demostrado estacionariedad. HEB-005 conserva la cuestión separada de la serie sobre validez de referencias, blancos, controles y calibraciones; HEB-011 trata la condición temporal bajo la que una referencia por lo demás adecuada puede dejar de representar el mismo estado de medición.

9. La estabilidad es una afirmación experimental

Una meseta estable debe demostrarse durante la ventana temporal relevante para el experimento, no asumirse a partir del tiempo nominal de calentamiento del fabricante o de una calma visual. Los criterios de estabilidad deben vincularse con el efecto más pequeño que el estudio pretende resolver. Un método puede ser suficientemente estable para una clasificación gruesa e inadecuado para una pequeña diferencia cuantitativa.

10. Mapa práctico de historia

Registre los eventos capaces de cambiar el estado: tiempo de preparación, mezclado, desgasificación, almacenamiento, equilibrado, exposición, retardos, secuencia, limpieza, carga, ciclado y mediciones previas. Cuando la dependencia de trayectoria sea plausible, invierta deliberadamente el orden, repita condiciones ancla, compare estados frescos y envejecidos y compruebe si el resultado afirmado sobrevive a historias alternativas.

11. El tiempo de reloj y la historia de exposición son variables diferentes

Dos probetas medidas después de 24 horas pueden no haber experimentado la misma historia. Una puede haber permanecido todo el intervalo a temperatura constante y en oscuridad; otra puede haber sufrido luz intermitente, mezclado, ciclado o exposición ambiental. Informar el tiempo transcurrido sin los cambios de estado intermedios puede ser, por tanto, insuficiente. La edad debe describirse en las coordenadas que impulsan el mecanismo: dosis acumulada, ciclos, historia térmica, exposición a humedad, historia de cizalladura, atmósfera de almacenamiento u otra integral relevante. El tiempo de reloj es un índice conveniente, no siempre la variable causal.

12. El arrastre crea dependencia histórica entre muestras

La muestra anterior puede cambiar la siguiente medición por contaminación, memoria en tuberías, disolvente residual, acondicionamiento de superficies, persistencia del detector o limpieza incompleta. La secuencia importa entonces incluso si el propio instrumento es estable. Por ello, los pasos de blanco y lavado deben comprobar su capacidad para restaurar la línea base, no asumirse que borran la historia. La aleatorización puede repartir el sesgo por arrastre, pero no eliminarlo. Cuando el arrastre sea importante, el experimento puede requerir secuencias diseñadas direccionalmente, blancos dedicados o condiciones de reinicio.

13. Las afirmaciones de estabilidad necesitan una escala temporal relevante para la decisión

Una respuesta que deriva un 0,1 % por hora puede ser irrelevante para un cribado grueso de cinco minutos y crítica para una secuencia de alta precisión de ocho horas. «Estable» no tiene, por tanto, significado útil sin una ventana temporal y una tolerancia conectadas con la decisión científica. El mismo instrumento o material puede ser estable para un experimento e inestable para otro. La cualificación de estabilidad debe comparar el cambio observado con el efecto más pequeño que el estudio pretende resolver y con la duración durante la que se supone transferible el resultado.

14. El acondicionamiento define el origen temporal

Muchos experimentos comienzan con un tiempo cero nominal que es operacional y no físico. Una probeta puede haber experimentado ya minutos de exposición durante la preparación, transporte o carga en el instrumento; una resina puede haber permanecido a temperatura de proceso durante períodos distintos antes de iniciar el cronómetro; una probeta mecánica puede haber relajado después del desmoldeo. Si el mecanismo relevante comienza antes del reloj registrado, las muestras pueden tener edades efectivas diferentes en el $t = 0$ nominal. Un protocolo riguroso define, por tanto, la secuencia de acondicionamiento y el evento que establece el origen temporal. Cuando ese evento no puede hacerse idéntico, la prehistoria debe registrarse como covariable o controlarse mediante el diseño.

15. Sincronizar instrumentos no sincroniza estados

Los experimentos multiinstrumento pueden crear un problema temporal adicional. Los canales de espectroscopía, temperatura, fuerza e imagen pueden tener retardos de adquisición, tiempos de integración y definiciones de disparo diferentes. Alinear sus marcas temporales en software no garantiza que observaran el mismo instante físico o estado espacial. Esto importa cuando el sistema evoluciona rápidamente. Un estudio temporal defendible documenta, por tanto, la latencia de disparo, las ventanas de adquisición y cualquier movimiento de muestra entre instrumentos. La resolución temporal es una propiedad de toda la cadena de medición, no simplemente del reloj más rápido mostrado por un dispositivo.

16. Conclusiones

El estado presente de un experimento puede depender de cómo se alcanzó. Calentamiento, deriva, envejecimiento, secuencia e histeresis son fenómenos distintos que pueden violar un análisis sin memoria. Por ello, el tiempo debe entrar en el modelo de medición siempre que la historia pueda cambiar el instrumento, la probeta, la referencia, el entorno o el análisis. Una secuencia reproducible puede reproducir un sesgo reproducible.

Referencias

- [1] Seguro, 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] Joint Committee for Guides in Metrology. Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. JCGM 100:2008 with Amendment 1:2026, Nonlinearity in measurement models. Base DOI: 10.59161/JCGM100-2008E; amendment DOI: 10.59161/PPDI3267.
- [3] Seguro, J. Optical-State Characterisation and Drift Detection in Vat-Photopolymerisation Equipment: Spatial Irradiance, Spectrum and Divergence, and the Unclosed Ageing Question. ER-174. 3Dresyns Engineering Publications (2026). Concept DOI: 10.5281/zenodo.22741064.

Limite de conocimiento

HEB-011 trata el problema metodológico general de dependencia histórica. ER-174 conserva la caracterización del estado óptico entregado y la detección de deriva para equipos VPP; otras revisiones de envejecimiento específicas de aplicación conservan sus propios mecanismos y requisitos de cualificación.

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.