

El problema oculto del proxy: cuando la magnitud medida no es la pregunta

Juan Segurola

3Dresyns by Resyner Technologies S.L.

© 2026 Juan Segurola. Todos los derechos reservados.

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

HEB-004 · Artículo técnico independiente · Versión v0.2

DOI: 10.5281/zenodo.22914950

Resumen

Una medición puede ser precisa, repetible y técnicamente bien ejecutada y, aun así, no responder a la pregunta científica si la magnitud medida es solo un proxy imperfecto del mensurando pretendido. Este artículo desarrolla el problema oculto del proxy como un fallo general de la inferencia científica. El Joint Committee for Guides in Metrology define el mensurando como la magnitud que se pretende medir y trata los modelos de medición como las relaciones que conectan las magnitudes de entrada con ese mensurando. Esta distinción se vuelve crítica siempre que un indicador, sustituto, métrica de cribado o estado intermedio se sustituye silenciosamente por la magnitud objetivo. Se examinan cuatro ejemplos. En redes fotopoliméricas, el grado de conversión, el monómero residual libre, los extraíbles o lixiviables y la exposición biológica son magnitudes relacionadas pero no equivalentes. En fotoiniciación, la absorción óptica es necesaria para la captura de fotones, pero no cuantifica por sí sola una iniciación radicalaria o iónica productiva. En caracterización mecánica, la dureza por indentación puede ser útil para cribado y comparación local, pero no se convierte en tenacidad a fractura ni tolerancia al daño solo por correlación. De forma más general, un indicador de proceso solo puede sustentar una decisión dentro del dominio en el que se haya demostrado su relación con el objetivo. El artículo propone una arquitectura práctica de validación de proxies basada en definición explícita del objetivo, un modelo de medición o causal declarado, calibración acotada al dominio, incertidumbre, ensayos de perturbación y confirmación independiente. La conclusión central es metodológica: la medición indirecta no es intrínsecamente débil, pero el puente inferencial entre proxy y objetivo debe tratarse como parte del experimento.

Palabras clave: mensurando; medición proxy; endpoint sustituto; modelo de medición; grado de conversión; monómero residual; extraíbles; fotoiniciador; absorbancia; dureza; tenacidad a fractura; validación; inferencia científica

1. Propósito y límite de evidencia

Este artículo examina un error científico recurrente: medir competentemente una magnitud y después interpretarla como si se hubiera medido otra. El problema no se limita a instrumentos deficientes ni a datos ruidosos. Puede aparecer en trabajos técnicamente sofisticados con excelente repetibilidad, equipos calibrados y resultados estadísticamente precisos. El fallo se encuentra en el paso inferencial entre la magnitud medida y la pregunta científica.

El análisis es metodológico. No sostiene que las mediciones proxy sean indeseables. Gran parte de la ciencia depende de mediciones indirectas. Temperatura, concentración, conversión molecular, tensión, dosis y exposición biológica se infieren con frecuencia a partir de señales intermedias mediante modelos de medición válidados. La distinción desarrollada aquí es, por tanto, entre un proxy justificado y una sustitución no válida.

HEB-001 introdujo el ejemplo más estrecho de que el grado de conversión, el monómero residual libre, los extraíbles o lixiviables y la exposición biológica no son mensurandos intercambiables [1]. HEB-004 generaliza esa observación entre dominios de medición. Los Engineering Reviews relacionados conservan la titularidad de los requisitos de cualificación específicos de aplicación; este artículo aborda el error de razonamiento que ocurre antes de diseñar esos requisitos.

El artículo plantea una proposición central:

Un proxy solo se vuelve científicamente informativo mediante una relación demostrada con la magnitud que realmente pregunta la cuestión científica.

2. El mensurando viene antes que el instrumento

El Vocabulario Internacional de Metrología define el mensurando como la magnitud que se pretende medir [2]. Esa formulación es más exigente de lo que parece. Obliga al experimentador a especificar no solo una salida

instrumental, sino la magnitud, el estado y las condiciones relevantes que hacen científicamente significativa la cantidad pretendida. El mismo vocabulario define un modelo de medición como la relación matemática entre las magnitudes que se sabe que intervienen en una medición, siendo el mensurando la magnitud de salida inferida a partir de las entradas [3].

Estas definiciones separan tres elementos que a menudo se colapsan en la práctica: la indicación producida por un instrumento, la magnitud realmente observada o calculada a partir de esa indicación y la magnitud objetivo requerida por la pregunta científica. A veces las tres son casi idénticas. A menudo no lo son.

Una representación mínima útil es:

señal → *magnitud medida X* → *modelo o puente de evidencia* → *mensurando objetivo Y*

La carga científica aumenta a medida que crece la distancia entre X e Y. Si X es una realización directa de Y bajo un procedimiento bien caracterizado, el puente puede ser corto. Si X es un sustituto elegido porque Y es difícil, destructivo, caro, lento o inaccesible, el puente pasa a ser una parte sustantiva de la evidencia. La precisión en X no puede compensar una relación desconocida entre X e Y.

Esto sugiere distinguir entre incertidumbre de medición e incertidumbre del proxy. La incertidumbre de medición se refiere a con qué calidad se ha determinado X. La incertidumbre del proxy se refiere a con qué calidad X restringe Y en el dominio declarado. La segunda puede dominar incluso cuando la primera es muy pequeña.

3. Correlación no es identidad

Un proxy se adopta a menudo porque se correlaciona con un objetivo bajo determinadas condiciones. La correlación puede ser útil, pero no hace idénticas dos magnitudes. La relación puede depender de composición, geometría, temperatura, tiempo, historia de procesamiento, población, geometría instrumental u otra variable latente. Una calibración construida en un dominio puede, por tanto, fallar al transferirse a otro.

Supongamos que un proxy X se relaciona con un objetivo Y mediante un modelo $Y = f(X, Z)$, donde Z representa variables de estado adicionales. Sustituir esa relación por $Y = f(X)$ solo está justificado si la dependencia relevante respecto a Z es despreciable, está controlada o se incorpora explícitamente para el uso previsto. De lo contrario, dos probetas con el mismo X pueden tener valores diferentes de Y porque difieren en Z.

La señal de alarma más fuerte es la compresión semántica: palabras como «curado», «resistencia», «biocompatibilidad», «eficiencia», «resolución» o «estabilidad» se utilizan como si cada una designara una única propiedad medible. En realidad, cada una puede contener varias magnitudes y puntos finales distintos. Antes de seleccionar un proxy, el objetivo debe descomprimirse hasta la magnitud realmente necesaria para la decisión.

Una correlación puede sustentar una inferencia. No puede borrar la distinción entre las variables correlacionadas.

4. Caso de estudio I: conversión no es monómero residual, extraíbles ni exposición

Las redes fotopolimerizadas ofrecen un ejemplo claro porque varias magnitudes químicamente relacionadas se comprimen con frecuencia en la idea informal de «cuanto ha curado» un material. El grado de conversión medido espectroscópicamente informa de la fracción de grupos reactivos monitorizados que han reaccionado. No informa directamente de la fracción en masa de monómero residual libre, de la composición del material que puede extraerse bajo un protocolo definido, de la cantidad que puede lixiviarse durante el servicio ni de la dosis biológica que alcanza células o tejidos.

HEB-001 utilizó un estudio de 2025 sobre un material basado en UDMA fotopolimerizado en cuba para ilustrar esta distinción [1,4]. Las condiciones de postcurado modificaron el grado de conversión medido, pero la fracción de C=C sin reaccionar no puede interpretarse numéricamente como la misma fracción de monómero libre. En una molécula multifuncional, un grupo reactivo puede haberse unido a la red mientras otro permanece sin reaccionar. La molécula queda entonces químicamente incorporada aunque siga detectándose insaturación residual.

El problema inverso también importa. Una especie monofuncional de baja masa molar puede permanecer móvil si su grupo reactivo no reacciona, pero que llegue a ser extraíble o biológicamente disponible depende también de la afinidad con la red, distancia de difusión, lavado, historia de postcurado, geometría de la probeta y entorno de extracción o exposición. Jin y colaboradores, por ejemplo, midieron la elución de monómero residual, el grado de conversión y las propiedades mecánicas como respuestas distintas al estudiar los efectos del postlavado en un material dental impreso [5]. Tratar cualquiera de esas respuestas como sustituto completo de las demás descartaría parte del estado experimental.

La distinción puede escribirse de forma compacta:

Las magnitudes pueden estar causalmente conectadas sin ser numéricamente intercambiables. Los Engineering Reviews específicos de aplicación ya conservan la metrología de conversión, la cualificación de extraíbles/lixiviables y la atribución de especies residuales. La pregunta HEB es más general: ¿en que momento un indicador químico intermedio se sustituyó silenciosamente por la magnitud que realmente requiere la conclusión?

5. Caso de estudio II: absorción no es fotoiniciación productiva

Un segundo ejemplo procede de la fotoquímica. Un espectro de absorción responde a si un cromóforo absorbe, y con que intensidad, en longitudes de onda concretas bajo condiciones especificadas. La fotoiniciación productiva formula una pregunta posterior: ¿con que eficiencia los fotones absorbidos generan las especies reactivas y la química posterior necesarias para la polimerización?

Entre ambas magnitudes se encuentran la formación del estado excitado, conversión interna, cruce intersistema o transferencia electrónica, escisión de enlace cuando corresponda, escape de la jaula, quenching, reacciones con oxígeno o inhibidor, reactividad radicalaria o iónica frente a la formulación y propagación. Eibel, Fast y Gescheidt mostraron explícitamente que el rendimiento del fotoiniciador depende de una combinación de absorción, rendimiento cuántico de disociación, propiedades de la fuente luminosa, reactividad de los radicales y reacciones laterales, y no de la absorción por sí sola [6]. Carroll y colaboradores demostraron después directamente que la reactividad fotoquímica resuelta en longitud de onda puede divergir de la absorptividad, mostrando por que un espectro de absorción no puede tratarse como un espectro de acción universal [7].

Por tanto, un espectro puede ser un proxy excelente de captura de fotones y un proxy deficiente de iniciación productiva si cambia la fotoquímica posterior. Dos iniciadores pueden absorber números comparables de fotones y generar números diferentes de especies reactivas útiles. A la inversa, un compuesto con absorción más débil a la longitud de onda de la lámpara puede rendir bien si utiliza sus fotones absorbidos con mayor eficiencia.

Por eso ER-202 separa la entrega espectral de fotones, la tasa de fotones absorbidos, los eventos fotoquímicos, la formación de especies reactivas y la respuesta de la formulación en lugar de etiquetar todo como «eficiencia» [8]. HEB-004 no reproduce ese marco de cualificación. Su punto metodológico es que la ubicación de una medición a lo largo de una cadena causal debe corresponder con la ubicación de la conclusión.

La absorción mide la entrada en una vía fotofísica. Por si sola no mide la salida con éxito de esa vía en forma de polimerización.

6. Caso de estudio III: dureza no es resistencia a fractura

Los ensayos mecánicos ofrecen otro problema persistente de proxy. Las mediciones de dureza son atractivas porque pueden ser rápidas, locales y económicas. La indentación instrumentada puede caracterizar la resistencia a deformación local y apoyar el cribado de materiales bajo un método definido. ISO/TS 19278, por ejemplo, especifica la dureza por microindentación instrumentada para plásticos como un método reproducible útil para control de calidad, selección de materiales y cribado [9].

Estas virtudes no hacen que dureza sea idéntica a tenacidad, resistencia a fatiga, resistencia al desgarro o tolerancia estructural al daño. La tenacidad a fractura se refiere a la resistencia a la extensión de una grieta bajo una configuración definida de mecánica de fractura. La dureza se refiere a una respuesta a indentación. Ambas pueden depender del estado de red y de la microestructura, y pueden existir correlaciones dentro de una familia de materiales restringida, pero son magnitudes físicamente diferentes.

La propia literatura de indentación demuestra la distinción. Lawn y Cook describen la indentación aguda como una sonda potente capaz de interrogar múltiples propiedades, al tiempo que subrayan efectos de tamaño, mecanismos de deformación y fractura, efectos de velocidad y microestructura [10]. Quinn y Bradt mostraron que las estimaciones de tenacidad a fractura por indentación Vickers implican un sistema de grietas y una condición de detención fundamentalmente distintos de los ensayos estándar de tenacidad a fractura [11]. La lección no es que la indentación sea inválida. Es que un valor inferido de tenacidad requiere un modelo y una validación adecuados al material y la geometría; un número de dureza por sí solo no es una medición de tenacidad.

En trabajo de ingeniería esta distinción importa porque una métrica de cribado puede ordenar correctamente formulaciones dentro de una familia y aun así fallar como propiedad de diseño transferible. ER-070 conserva la titularidad específica de aplicación sobre tenacidad a fractura y tolerancia al daño en termoestables impresos en cuba [12]. HEB-004 formula la pregunta epistémica previa: ¿qué evidencia permite que una respuesta local conveniente sustituya al modo de fallo que importa?

7. La escalera del proxy: indicación, estado, prestaciones y decisión

Muchos programas experimentales contienen varias capas de proxy en lugar de una. Un ejemplo de fotopolímero podría pasar de absorbancia infrarroja a conversión, de conversión a estado de red, de estado de red a extraíbles o módulo, y de esas magnitudes a una decisión de servicio o biológica. Cada flecha puede ser razonable. El peligro surge cuando las flechas desaparecen del informe y el primer observable se describe con el nombre de la variable de decisión final.

La misma arquitectura aparece fuera de los fotopolímeros. Una condición de envejecimiento acelerado es un proxy de la historia de servicio; un biomarcador puede ser proxy de un endpoint clínico; una probeta puede ser proxy de un componente; un ensayo de creep a corto plazo puede ser proxy de deformación a largo plazo; un cambio de color puede ser proxy de conversión química; y una única característica geométrica puede ser proxy de la capacidad de una impresora. Ninguno es automáticamente inválido. Cada uno requiere un dominio, un modelo y evidencia de que la relación sigue siendo adecuada para la decisión prevista.

Una escalera útil de cuatro niveles es:

indicación → estado del material o sistema → prestaciones funcionales → decisión

Los errores se vuelven más trascendentes a medida que las conclusiones ascienden sin evidencia. Un instrumento puede medir una indicación con precisión y, sin embargo, la decisión puede ser errónea porque el mapeo entre niveles sea inestable o incompleto.

8. Cuando un proxy es legítimo

Un proxy defendible no necesita ser perfecto. Necesita ser adecuado para un propósito declarado. Seis preguntas suelen bastar para revelar si el puente inferencial ha sido probado.

Primero, ¿cuál es el mensurando objetivo? El objetivo debe expresarse como una magnitud o endpoint, no como un adjetivo vago del material. Segundo, ¿qué es exactamente el proxy? Deben explicitarse la magnitud medida, profundidad de muestreo, geometría, momento temporal y método analítico. Tercero, ¿por qué debería el proxy restringir el objetivo? Esto requiere un modelo de medición, mecanismo causal o calibración empírica y no una semejanza verbal. Cuarto, ¿en qué dominio se ha demostrado la relación? Composición, temperatura, espesor, estado de proceso, población y condiciones instrumentales definen la región válida. Quinto, ¿qué incertidumbre entra a través de la relación proxy-objetivo además de la incertidumbre de medición del propio proxy? Sexto, ¿qué observación independiente puede falsar o verificar el objetivo inferido?

Una secuencia práctica de validación es, por tanto:

definir Y → medir X → establecer relación X-Y → perturbar el dominio → cuantificar incertidumbre → confirmar Y de forma independiente

El paso de perturbación es importante. Un proxy que solo sigue al objetivo porque ambos responden a una tercera variable puede fallar cuando esa variable cambia. Variar deliberadamente posibles factores de confusión revela si la relación es estructural o accidental.

Un proxy no es incorrecto por ser indirecto. Se vuelve engañoso cuando el puente inferencial se supone en lugar de demostrarse.

9. Múltiples proxies y triangulación

Cuando el objetivo es difícil de medir directamente, varios proxies parcialmente independientes pueden ser más fuertes que un único indicador conveniente. La conversión espectroscópica, el análisis de especies extraíbles y la respuesta mecánica, por ejemplo, interrogan aspectos diferentes de una red curada. La concordancia entre ellos no los hace idénticos, pero la convergencia puede restringir el estado plausible con más fuerza que una sola medición.

La triangulación es más informativa cuando los proxies fallan de forma diferente. Dos métodos contruidos sobre el mismo procesamiento de señal o el mismo supuesto subyacente pueden reproducir el mismo sesgo. Principios físicos independientes, profundidades de muestreo distintas o etapas diferentes de respuesta proporcionan comprobaciones cruzadas más útiles.

El desacuerdo también es información. Si aumenta la dureza mientras disminuye la resistencia a fractura, o aumenta la conversión mientras la concentración de extraíbles no cae como se esperaba, el desajuste identifica una variable de estado ausente o un modelo inadecuado. La respuesta correcta no es elegir el proxy preferido. Es investigar por qué los proxies se han desacoplado.

10. Modos de fallo del proxy

Varios patrones recurrentes merecen sospecha explícita. El fallo de rango aparece cuando una calibración se extrapola más allá de las condiciones utilizadas para establecerla. El fallo de composición aparece cuando una relación desarrollada para una familia de materiales se transfiere a otra con química o microestructura diferente. El fallo de escala aparece cuando mediciones superficiales o de pequeño volumen se tratan como propiedades de volumen sin demostrar representatividad. El fallo temporal aparece cuando proxy y objetivo evolucionan a velocidades distintas. El fallo de mecanismo aparece cuando cambia la vía causal que conecta proxy y objetivo. El fallo de decisión aparece cuando una métrica de cribado útil se trata como evidencia suficiente de una afirmación de seguridad, fiabilidad o prestaciones de nivel superior.

Existe un peligro adicional: la optimización del proxy. Una vez que una métrica conveniente se convierte en objetivo, el desarrollo experimental puede mejorar esa métrica mientras el resultado pretendido permanece igual o incluso empeora. El problema no es solo manipulación estadística; puede ocurrir en ingeniería de buena fe siempre que la variable medida sea más fácil de optimizar que la propiedad que originalmente la motivo.

El antídoto es el reanclaje periódico: volver al mensurando pretendido y verificar que la mejora del proxy siga prediciendo mejora del objetivo.

11. Relacion con el corpus Engineering Review

La serie HEB aborda fallos de razonamiento que pueden repetirse entre dominios científicos. La serie ER aborda evidencia de ingeniería y preguntas de cualificación en contextos técnicos definidos. Este artículo no prescribe, por tanto, límites de aceptación, protocolos de extracción, métodos de ranking de fotoiniciadores, umbrales de dureza ni valores de diseño de fractura. Esos elementos pertenecen a las revisiones específicas de aplicación correspondientes.

El límite puede expresarse de forma sencilla: HEB pregunta si una conclusión se deriva de lo que se midió; ER pregunta qué evidencia se requiere para cualificar una afirmación concreta de ingeniería. HEB-004 nombra el fallo inferencial. ER-027, ER-070, ER-086, ER-092 y ER-202 conservan respectivamente la titularidad de metrología de conversión, fractura y tolerancia al daño, extraíbles/lixiviables, atribución de especies residuales y metrología de espectro de acción/rendimiento cuántico de fotoiniciadores [8,12-15].

12. Conclusiones

El problema oculto del proxy comienza cuando un observable conveniente hereda el nombre y la autoridad de una magnitud diferente. El resultado puede parecer científicamente fuerte porque el proxy puede medirse con excelente precisión, replicación y control instrumental. Ninguna de esas cualidades válida por sí sola la relación proxy-objetivo.

Las principales conclusiones son:

1. El mensurando es la magnitud que requiere la pregunta científica, no simplemente la magnitud que el instrumento produce.
2. La medición indirecta es científicamente válida cuando la relación entre proxy y objetivo se demuestra para el dominio previsto.
3. La incertidumbre de medición del proxy y la incertidumbre de la relación proxy-objetivo son contribuciones diferentes y no deben confundirse.
4. La correlación puede sustentar un proxy, pero no hace idénticas dos magnitudes ni garantiza transferencia fuera del dominio de calibración.
5. Grado de conversión, monómero residual libre, extraíbles o lixiviables y exposición biológica son magnitudes distintas incluso cuando están causalmente conectadas.
6. La absorción óptica no equivale a fotoiniciación productiva porque los estados excitados y pasos de reacción posteriores determinan la salida química útil.
7. La dureza no es tenacidad a fractura ni tolerancia al daño; una relación de cribado requiere su propio modelo y validación.
8. Múltiples proxies independientes pueden restringir con mayor fuerza un objetivo, especialmente cuando sus modos de fallo difieren.
9. Un proxy debe perturbarse deliberadamente frente a posibles factores de confusión antes de confiar en él como sustituto transferible.
10. La afirmación científica final debe nombrar la magnitud realmente respaldada por la evidencia y detenerse antes de que el puente inferencial quede sin comprobar.

El proxy más peligroso no es uno imperfecto. Es aquel cuya imperfección ha desaparecido del lenguaje de la conclusión.

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. International Vocabulary of Metrology - Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM), 3rd ed., JCGM 200:2012, §2.3, measurand. DOI: 10.59161/JCGM200-2012.
- [3] Joint Committee for Guides in Metrology. International Vocabulary of Metrology - Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM), 3rd ed., JCGM 200:2012, §2.48, measurement model. DOI: 10.59161/JCGM200-2012.
- [4] Cheadle, A. M. G.; Maier, E.; Palin, W. M.; Tomson, P. L.; Poolagasundarampillai, G.; Hadis, M. A. The impact of modifying 3D printing parameters on mechanical strength and physical properties in vat photopolymerisation. Scientific Reports 15 (2025) 12592. DOI: 10.1038/s41598-025-97294-8.
- [5] Jin, G.; Gu, H.; Jang, M.; Bayarsaikhan, E.; Lim, J.-H.; Shim, J.-S.; Lee, K.-W.; Kim, J.-E. Influence of postwashing process on the elution of residual monomers, degree of conversion, and mechanical properties of a 3D printed crown and bridge materials. Dental Materials 38(11) (2022) 1812-1825. DOI: 10.1016/j.dental.2022.09.017.
- [6] Eibel, A.; Fast, D. E.; Gescheidt, G. Choosing the ideal photoinitiator for free radical photopolymerizations: predictions based on simulations using established data. Polymer Chemistry 9 (2018) 5107-5115. DOI: 10.1039/C8PY01195H.
- [7] Carroll, J. A.; Pashley-Johnson, F.; Klein, M.; Stephan, T.; Pandey, A. K.; Walter, M.; Unterreiner, A.-N.; Barner-Kowollik, C. Microenvironments as an Explanation for the Mismatch between Photochemical Absorptivity and Reactivity. Journal of the American Chemical Society 147(30) (2025) 26643-26651. DOI: 10.1021/jacs.5c06961.
- [8] Seguro, J. Photoinitiator Action-Spectrum and Quantum-Yield Metrology: Absorbed Photons, Reactive-State Formation and Cross-Laboratory Comparability. ER-202. 3Dresyns Engineering Publications (2026). Zenodo record 22842462.
- [9] ISO/TS 19278:2019. Plastics - Instrumented micro-indentation test for hardness measurement. International Organization for Standardization.
- [10] Lawn, B. R.; Cook, R. F. Probing material properties with sharp indenters: a retrospective. Journal of Materials Science 47(1) (2012) 1-22. DOI: 10.1007/s10853-011-5865-1.
- [11] Quinn, G. D.; Bradt, R. C. On the Vickers Indentation Fracture Toughness Test. Journal of the American Ceramic Society 90 (2007) 673-680. DOI: 10.1111/j.1551-2916.2006.01482.x.
- [12] Seguro, J. Fracture Toughness and Damage Tolerance in Vat-Photopolymerised Thermosets: Crack Preparation, Cure State, Anisotropy and Qualification. ER-070. Zenodo (2026). Concept DOI: 10.5281/zenodo.22123345.
- [13] Seguro, J. Conversion Metrology and Spatial Cure Heterogeneity in Vat Photopolymerisation: From Exposure to Network State. ER-027. Zenodo (2026). Concept DOI: 10.5281/zenodo.22017523.
- [14] Seguro, J. Analytical Extractables and Leachables from Vat-Printed Photopolymers: Specimen State, Extraction Design, Analytical Coverage and Cross-Study Comparability. ER-086. Zenodo (2026). Concept DOI: 10.5281/zenodo.22123380.
- [15] Seguro, J. Residual Reactants, Impurities and Manufacturing Conversion as Hidden Drivers of Photopolymer Hazard. ER-092. 3Dresyns Engineering Publications (2026). Concept DOI: 10.5281/zenodo.22156128.

Limite de conocimiento

Las definiciones metrológicas de este artículo se basan en la terminología JCGM VIM. Los ejemplos de fotopolímeros utilizan estudios publicados y Engineering Reviews existentes de 3Dresyns solo para demostrar distinciones entre mensurandos y etapas de inferencia. HEB-004 no reevalúa los conjuntos de datos completos que sustentan esos Engineering Reviews, no prescribe criterios de aceptación específicos de aplicación ni infiere seguridad, prestaciones biológicas o fiabilidad estructural a partir de los ejemplos de proxy presentados aquí.

Limitaciones

El artículo es una síntesis metodológica y no un metaanálisis cuantitativo de la validez de proxies. No se propone ningún umbral numérico universal para decidir cuando un proxy es adecuado. La fortaleza de un proxy está necesariamente condicionada por el mensurando objetivo, dominio de calibración, incertidumbre, mecanismo y

decisión prevista. Los ejemplos de fotopolímeros, fotoquímica e indentación son ilustrativos y no deben transferirse como reglas de cualificación específicas de materiales sin la evidencia de dominio correspondiente.