

Juan Seguro

3Dresyns by Resyner Technologies S.L.

© 2026 Juan Seguro. Todos los derechos reservados.

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

INF-008 · Inferencia Científica y Razonamiento Experimental · Versión v0.2

Resumen

La incertidumbre dentro de un modelo no es lo mismo que la incertidumbre sobre el modelo. La incertidumbre paramétrica se refiere a valores desconocidos dentro de una estructura elegida; la incertidumbre estructural se refiere a qué estructura, mecanismo, forma funcional o clase de modelo es apropiada. Informar solo errores estándar, intervalos de confianza o intervalos posteriores condicionados a un único modelo puede, por tanto, infravalorar la incertidumbre relevante para una afirmación científica cuando siguen siendo plausibles múltiples estructuras. Este artículo define la incertidumbre estructural y paramétrica, explica cómo interactúan y muestra por qué el promediado, la calibración o el análisis de sensibilidad no pueden hacer desaparecer la incertidumbre estructural. La discrepancia de modelo, la identificabilidad práctica y las estructuras alternativas plausibles requieren tratamiento separado. INF-004 posee la decisión sobre qué rivales permanecen activos; INF-008 posee la cualificación de la conclusión mientras persista esa pluralidad estructural. El objetivo no es producir una cifra universal de incertidumbre combinada, sino evitar confundir precisión condicional con certeza incondicional.

Palabras clave: incertidumbre estructural; incertidumbre paramétrica; incertidumbre de modelo; discrepancia de modelo; identificabilidad; propagación de incertidumbre; análisis de sensibilidad

1. La precisión condicional puede ocultar incertidumbre estructural

La mayoría de los intervalos estadísticos están condicionados a un modelo. Si la estructura del modelo es errónea o es una entre varias estructuras plausibles, un intervalo estrecho alrededor de sus parámetros no captura la incertidumbre que importa para la conclusión científica. Draper formalizó la incertidumbre de modelo como un componente distinto que debe evaluarse y propagarse en lugar de condicionarse silenciosamente [1].

2. Incertidumbre paramétrica

La incertidumbre paramétrica se refiere a valores numéricos desconocidos dentro de una estructura especificada: constantes de velocidad, coeficientes de regresión, módulos elásticos, rendimientos de reacción u otros parámetros. Puede surgir por datos finitos, ruido de medición o excitación incompleta del sistema. Errores estándar, perfiles de verosimilitud, distribuciones posteriores e intervalos de confianza son ejemplos de herramientas para caracterizar esta incertidumbre bajo sus respectivos supuestos.

3. Incertidumbre estructural

La incertidumbre estructural se refiere a la forma del propio modelo: qué variables o mecanismos están presentes, la dirección de las relaciones causales, la forma funcional que conecta las variables, el modelo de error, las condiciones de contorno o qué clase de modelo candidata es apropiada. La incertidumbre estructural puede persistir incluso cuando cada modelo se estima bien por separado. INF-004 identifica qué estructuras rivales permanecen activas; INF-008 determina cómo debe cualificarse la conclusión científica por ese hecho.

4. La identificabilidad práctica no es incertidumbre estructural

Un parámetro puede ser estructuralmente identificable en un modelo fijo y, aun así, no ser identificable en la práctica con los datos disponibles. Raue y colaboradores muestran cómo el perfil de verosimilitud puede revelar esas limitaciones prácticas en modelos dinámicos parcialmente observados [2]. Esto sigue siendo incertidumbre dentro de una estructura elegida. Por el contrario, existe incertidumbre estructural cuando estructuras de modelo distintas siguen siendo plausibles incluso con parámetros idealmente estimados.

5. Discrepancia de modelo

Los modelos complejos rara vez reproducen exactamente la realidad. Kennedy y O'Hagan distinguen la incertidumbre sobre parámetros de calibración de la discrepancia entre un modelo computacional y el sistema físico [3]. Tratar la discrepancia como si fuera ruido paramétrico puede forzar a los parámetros a compensar física ausente y crear predicciones excesivamente seguras. Un análisis científicamente defendible indica, por tanto, qué se espera que represente el modelo y qué discrepancia residual queda fuera de su parametrización.

6. Análisis de sensibilidad y propagación de incertidumbre

El análisis de sensibilidad puede identificar qué supuestos o entradas influyen más en una conclusión y resulta útil para explorar alternativas paramétricas y estructurales. Los métodos de sensibilidad global varían deliberadamente las entradas sobre intervalos especificados en lugar de basarse en perturbaciones de una en una [4]. Pero el análisis de sensibilidad

solo es tan completo como el conjunto de variaciones consideradas. No puede demostrar robustez frente a una estructura omitida que nunca se incluyó en el análisis.

7. Combinar incertidumbre sin ocultar su origen

El promediado de modelos y los enfoques jerárquicos pueden propagar incertidumbre a través de un conjunto de modelos especificado, pero el agregado resultante sigue condicionado a ese conjunto y al esquema de ponderación. INF prefiere por ello, cuando sea factible, un reporte que conserve la fuente: incertidumbre paramétrica dentro de cada modelo, variación entre modelos y alternativas estructurales plausibles no representadas por el conjunto de modelos. Un único intervalo combinado puede ser útil, pero no debería borrar la distinción entre esos componentes.

8. Qué cambia la afirmación

La incertidumbre estructural cambia a menudo la redacción de una conclusión justificada más que la incertidumbre paramétrica. Si todas las estructuras plausibles predicen la misma dirección cualitativa, la conclusión puede seguir siendo robusta pese a la incertidumbre de modelo. Si el signo, el mecanismo o la extrapolación cambian entre estructuras, la afirmación debe seguir siendo correspondientemente condicional. Este es el puente de INF-008 a INF-009, que pregunta si una conclusión sobrevive a variaciones declaradas de modelo y supuestos.

9. Disciplina mínima de reporte

- Indique la estructura de modelo a la que está condicionada la incertidumbre paramétrica.
- Identifique estructuras alternativas materialmente plausibles.
- Separe la no identificabilidad práctica de parámetros de la ambigüedad estructural.
- Represente explícitamente la discrepancia de modelo cuando se sepa que el modelo es una aproximación.
- Informe la sensibilidad a supuestos que podrían cambiar la conclusión científica.
- No presente un intervalo condicional estrecho como incertidumbre total cuando la estructura del modelo siga siendo objeto de disputa.

Referencias

- [1] Draper, D. Assessment and Propagation of Model Uncertainty. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B* 57(1), 45-70 (1995). DOI: 10.1111/j.2517-6161.1995.tb02015.x.
- [2] Raue, A.; Kreutz, C.; Maiwald, T.; Bachmann, J.; Schilling, M.; Klingmüller, U.; Timmer, J. Structural and Practical Identifiability Analysis of Partially Observed Dynamical Models by Exploiting the Profile Likelihood. *Bioinformatics* 25(15), 1923-1929 (2009). DOI: 10.1093/bioinformatics/btp358.
- [3] Kennedy, M.C.; O'Hagan, A. Bayesian Calibration of Computer Models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B* 63(3), 425-464 (2001). DOI: 10.1111/1467-9868.00294.
- [4] Saltelli, A.; Ratto, M.; Andres, T.; Campolongo, F.; Cariboni, J.; Gatelli, D.; Saisana, M.; Tarantola, S. *Global Sensitivity Analysis: The Primer*. Wiley, 2008. DOI: 10.1002/9780470725184.

Declaración de datos y materiales

No se generó ningún conjunto de datos experimental nuevo para este artículo. El artículo es un análisis metodológico basado en la bibliografía citada y en la arquitectura de atribución de contenidos congelada de la serie INF.