

LA PARADOJA DEL ERROR HUMANO



RUBÉN RISUEÑO GONZÁLEZ

Graduado en Ciencias Ambientales
Analista Químico
CN. ASCÓ (ANAV)



RUBÉN HORTIGÜELA MARTÍNEZ

Licenciado Químico. Experto en
Radioquímica y Radwaste
CN. ASCÓ (ANAV)



HELIO SÚJAR

Diplomado en Farmacia. Responsable
técnico
TECNASA

¿En qué consiste la paradoja del error humano?

Imagina que trabajas en un laboratorio de una central nuclear. Cada día pasan por tus manos muestras de diferentes tipos que debes analizar con precisión, ya que sus resultados pueden contribuir al control radioquímico del circuito primario o estar implicados en decisiones tan delicadas como autorizar una descarga al exterior. Para garantizar esa seguridad, todo está bajo control: un equipo humano altamente cualificado, procedimientos bien definidos, supervisión rigurosa y técnicas consolidadas para prevenir errores humanos. Aun así, como en cualquier entorno complejo, existe una mínima posibilidad de que se produzca un error: un número mal introducido, una geometría incorrecta, una fecha equivocada. Son fallos poco frecuentes, pero posibles, precisamente porque todos los sistemas dependen en última instancia de la intervención humana. Y aquí nace la paradoja: intentamos evitar errores humanos... con humanos.

Durante décadas hemos confiado en buenas prácticas para reducir el error humano, como las listas de comprobación, las supervisiones cruzadas o las pausas para repasar tareas. Estas barreras funcionan y están profun-

damente integradas en nuestra forma de trabajar, pero comparten un rasgo común: todas requieren la intervención activa de una persona. Si un analista está cansado y comete un error, ¿qué le impide equivocarse... o no detectar su propio error al revisarlo? Por eso necesitamos algo más: una forma de detectar los errores sin depender únicamente de quien los puede cometer. No porque el sistema actual falle, sino porque siempre se puede reforzar. Cuantas más barreras, menos posibilidades de que algo se escape. De ahí la necesidad de automatizar.

¿Por qué automatizar la detección del error humano? Lecciones de otros sectores

En una central nuclear todo está diseñado por duplicado (o incluso triplicado). Hay trenes redundantes de salvaguardias, sistemas alternativos de refrigeración, sensores adicionales... todo pensado para que, si algo falla, siempre haya una capa extra preparada para actuar. Entonces, ¿por qué no aplicar esta misma filosofía en el laboratorio? La solución no puede ser solo formar mejor o revisar más. Hay que cambiar el enfoque: pasar de confiar en que no fallaremos, a construir sistemas que detecten el fallo antes de que tenga consecuencias.



Figura 1. Póster informativo para el Departamento de Química y Radioquímica de ANAV sobre los doce precursores del error humano ('Dirty Dozen').

Muchos de esos fallos no son resultado de una mala formación ni de desinterés. Son, en realidad, consecuencia directa de lo que se conoce como los **Dirty Dozen** (**Figura 1**): doce factores humanos identificados por Gordon Dupont en 1993 mientras trabajaba en el sector aeronáutico, al investigar por qué seguían ocurriendo errores incluso en entornos muy regulados y con personal altamente cualificado [1]. Aunque estos factores se originaron en la aviación, afectan por igual a cualquier entorno complejo, incluido un laboratorio nuclear. El cansancio, las prisas, la rutina o la confianza excesiva forman parte de la naturaleza humana. No aparecen por falta de compromiso, sino porque ningún entorno, por exigente que sea, está libre de ellos. Y lo más importante: no desaparecen con la experiencia. Al contrario, cuanto más se domina una tarea, más fácil es que el cerebro entre en modo automático, repita gestos sin analizarlos y deje escapar un detalle sin intención. Es justo ahí donde las herramientas automáticas pueden marcar la diferencia.

Y si estos precursores del error humano son inevitables, incluso con personal formado y experimentado, entonces la pregunta: ¿cómo evitar que un simple despiste acabe en un error real? La respuesta es sencilla: incorporar barreras que no dependan únicamente de la atención humana. Por eso resulta tan útil el Modelo del Queso Suizo, propuesto por James Reason [2]. En él, cada defensa es como una rebanada de queso: robusta, pero con pequeños fallos inevitables. Si esos fallos, representados como los "agujeros" del queso, se alinean por azar o por debilidad puntual, el error atraviesa todas las barreras. ¿Qué

hacer entonces? Añadir nuevas capas, mejor orientadas, que refuercen el sistema. La herramienta que presentamos no sustituye estas barreras previas. Al contrario: se integra como una capa adicional, perfectamente compatible con prácticas habituales como la revisión por pares o las pausas para repasar tareas. Su función es clara: actuar como una especie de "supervisor experto" en segundo plano, que ayuda al analista a detectar desviaciones antes de que se conviertan en errores reales. Cuantas más defensas haya, menor será la probabilidad de que un error llegue al resultado final.

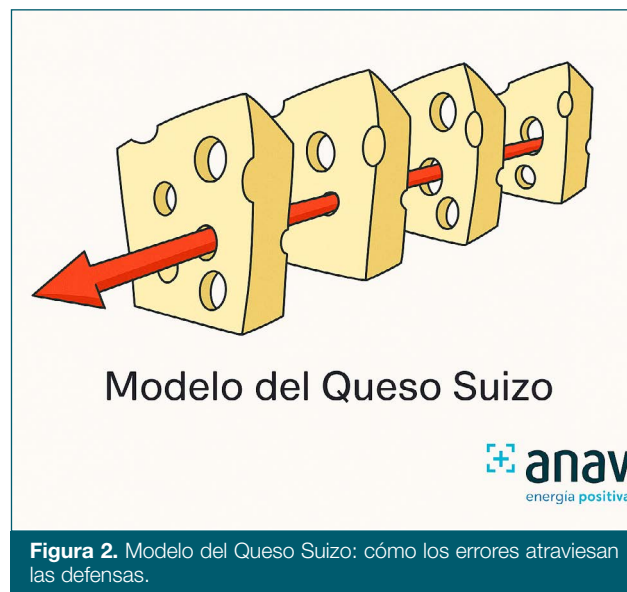


Figura 2. Modelo del Queso Suizo: cómo los errores atraviesan las defensas.

Esta filosofía no es nueva, no hemos inventado la rueda. En la industria japonesa se aplica desde hace décadas el sistema Poka-Yoke, ideado por el ingeniero Shigeo Shingo en Toyota durante los años 60 [3]. Su nombre significa "a prueba de errores" y su propósito es claro: diseñar procesos que eviten que el operario pueda equivocarse, o que al menos hagan evidente el fallo antes de que tenga consecuencias. Un ejemplo típico es el conector que solo puede colocarse en una posición. Shingo desarrolló este concepto al observar que muchos errores en las líneas de montaje no se debían a negligencia, sino a despistes inevitables en tareas repetitivas. Su filosofía era clara: si el



Figura 3. Principio del sistema Poka-Yoke: diseño a prueba de errores.

error es humano, el proceso debe anticiparse al error, no confiar solo en la atención del operario.

En el sector del desarrollo de software se usan desde hace años herramientas como Selenium, Testim o Mabl. Estas aplicaciones automatizan pruebas que simulan cómo interactuarán los usuarios con una plataforma antes de su lanzamiento. Actúan como una verificación post-proceso: ejecutan miles de escenarios posibles, detectan incoherencias, errores lógicos o funciones que no responden como deberían. Incluso en medicina, donde los márgenes de error son mínimos, se han adoptado soluciones similares. Un ejemplo claro es el sistema APCC (*Automatic Plan Consistency Check*), desarrollado por la Cleveland Clinic para revisar automáticamente los parámetros críticos en planes de radioterapia antes de su aplicación [4]. ¿El resultado? Una reducción del 59 % en errores graves en tan solo un año. Y lo interesante no es solo el número, sino el tipo de errores que se evitaban: etiquetas mal asignadas, campos sin completar... fallos humanos cometidos por profesionales altamente cualificados. Antes del APCC, muchos de esos errores ni siquiera eran detectados por los controles físicos convencionales. En ambos casos, automatizar la revisión final antes de que el resultado llegue a su destino, ya sea un tratamiento o una aplicación, marcó la diferencia. Si en esos sectores ha funcionado, ¿por qué no aplicar una lógica similar en espectrometría gamma?

Diseñada para detectar lo que se nos escapa

A lo largo de los años, tanto en las sesiones de formación continua como en la experiencia práctica diaria, hemos observado un patrón recurrente: la mayoría de los errores se producían en un mismo punto, justo cuando el analista introduce los parámetros del análisis en el software. Esa interacción, tan repetida y aparentemente sencilla, resultó ser la principal, y casi única, fuente de fallo. No fallaban los equipos. No fallaban los cálculos. No fallaban los procedimientos. Fallaba justo ese paso: cuando un valor se introduce por inercia, una fecha se queda sin actualizar o se arrastra un dato antiguo sin revisar.

Con esa idea en mente, decidimos actuar. Para ello contamos con la empresa Tecnasa, nuestro proveedor habitual de equipos de radioquímica y también especialistas en diseñar soluciones a medida para espectrometría gamma. Trabajamos mano a mano para desarrollar una herramienta perfectamente integrada en el trabajo diario. Su función: revisar automáticamente los parámetros introducidos por el analista, detectar valores anómalos y hacerlo sin interrumpir el ritmo de trabajo.

La solución fue una hoja Excel específicamente adaptada para detectar errores humanos [5]. Su funcionamiento es sencillo: importa automáticamente los datos del espectro analizado, identifica el tipo de análisis y comprueba si los parámetros introducidos coinciden con los valores predefinidos en una tabla de referencia propia del laboratorio. Para cada tipo de análisis pueden configurarse hasta 24 parámetros distintos, lo que permite una verificación tan detallada como se necesite. De esta forma, cada comprobación se ajusta exactamente a las necesidades del análisis que se realiza, como una especie de traje hecho a medida.

El sistema presenta los resultados con un sencillo código visual de colores: verde cuando todo está correcto, y rojo cuando detecta incoherencias. Pero el color rojo no implica necesariamente un error; puede indicar pruebas internas, ensayos preliminares o modificaciones previstas. Es el analista quien, con conocimiento del contexto, decide finalmente validar o revisar estos resultados. De este modo, la herramienta alerta sin bloquear, respetando siempre el juicio técnico del analista.

Más que una etapa adicional en el proceso analítico, esta herramienta está perfectamente integrada en el momento que el analista revisa y valida sus resultados. Al utilizar esta hoja Excel para comprobar los datos, el analista ejecuta automáticamente, en segundo plano y sin esfuerzo extra, una herramienta efectiva de prevención del error humano.

A continuación, se muestra un ejemplo real de su funcionamiento. En la **Figura 4** se observa una celda en rojo, debido a un valor incorrecto en la geometría del análisis. Esta alerta, lejos de interrumpir el proceso, permite al analista revisar la información antes de validarla. En la **Figura 5**, una vez corregido el dato, el sistema marca en verde todos los parámetros y confirma que el análisis cumple con los valores de referencia.

Durante varios meses realizamos validaciones exhaustivas en paralelo, introduciendo de manera intencionada errores comunes como geometrías incorrectas o fechas mal ajustadas, con el objetivo de comprobar sus fórmulas lógicas y numéricas. La herramienta demostró ser capaz de detectar todos estos errores e incluso sugirió automáticamente correcciones inmediatas cuando fue necesario. Desde que empezamos a utilizarla, hemos observado una reducción clara de errores que antes pasaban desapercibidos. Sin necesidad de cambiar el flujo de trabajo, el proceso analítico es ahora más fiable y ágil.

Además, al disponer de toda la información del análisis en Excel, hemos empezado a aprovechar esos datos para anticiparnos y tomar decisiones operativas. Por ejemplo, ahora podemos prever si se va a producir una descarga líquida al exterior, una tarea que antes requería varias horas y la intervención de otros departamentos, ahora el propio analista puede saberlo en apenas 20 minutos, mejorando así la eficiencia y la capacidad de respuesta del laboratorio.

Conclusión: una nueva forma de trabajar

Esta herramienta de detección del error humano ha demostrado que la lógica de control automático, tan exitosa en otros sectores, encaja perfectamente en el análisis radioquímico de una central nuclear. Su implantación no solo ha reducido errores, sino que ha transformado nuestra forma de trabajar.

La espectrometría gamma necesitaba un salto cualitativo en la forma de abordar el error humano. Ahora tenemos una capa adicional que asegura que cualquier error humano, inevitable en cualquier entorno operativo, no llegue nunca al resultado final. Y lo más importante: esta filosofía no complica el proceso, sino que lo simplifica. Integra prevención y detección sin pasos extras, aporta valor didáctico al analista y se adapta con facilidad a nuevas condiciones.

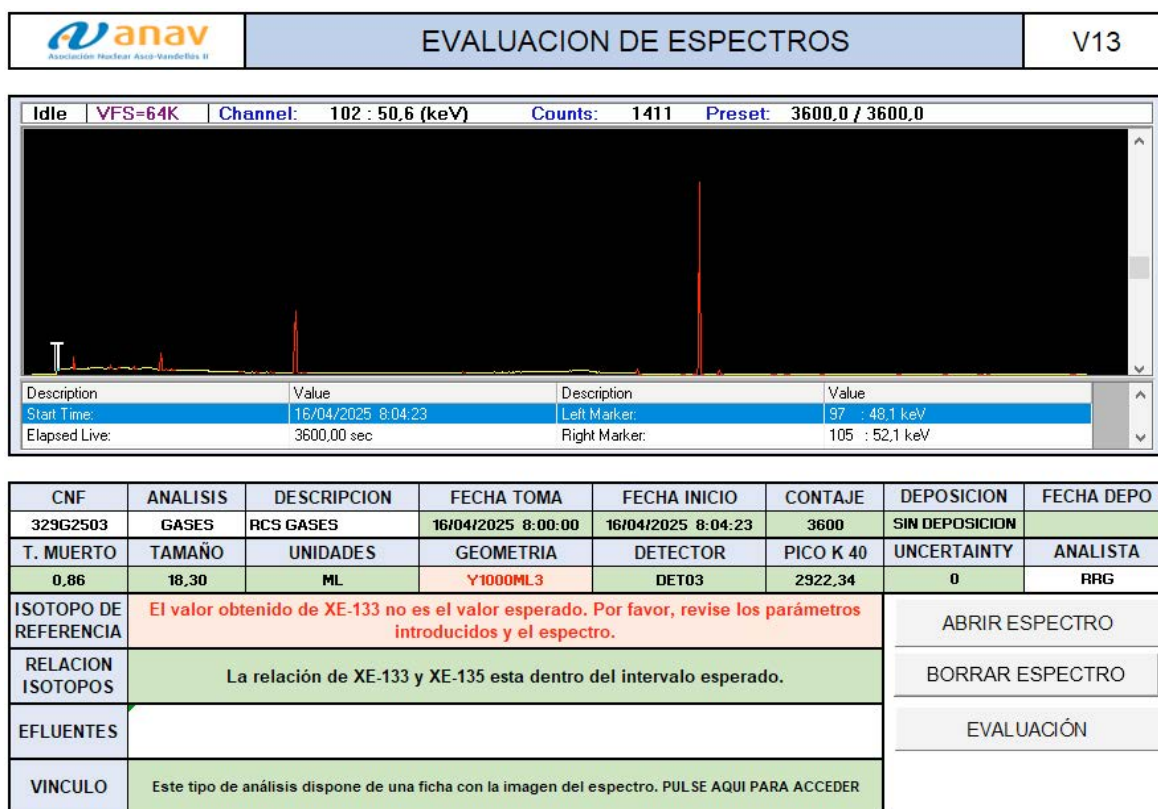


Figura 4. Ejemplo de autoverificación con error detectado.

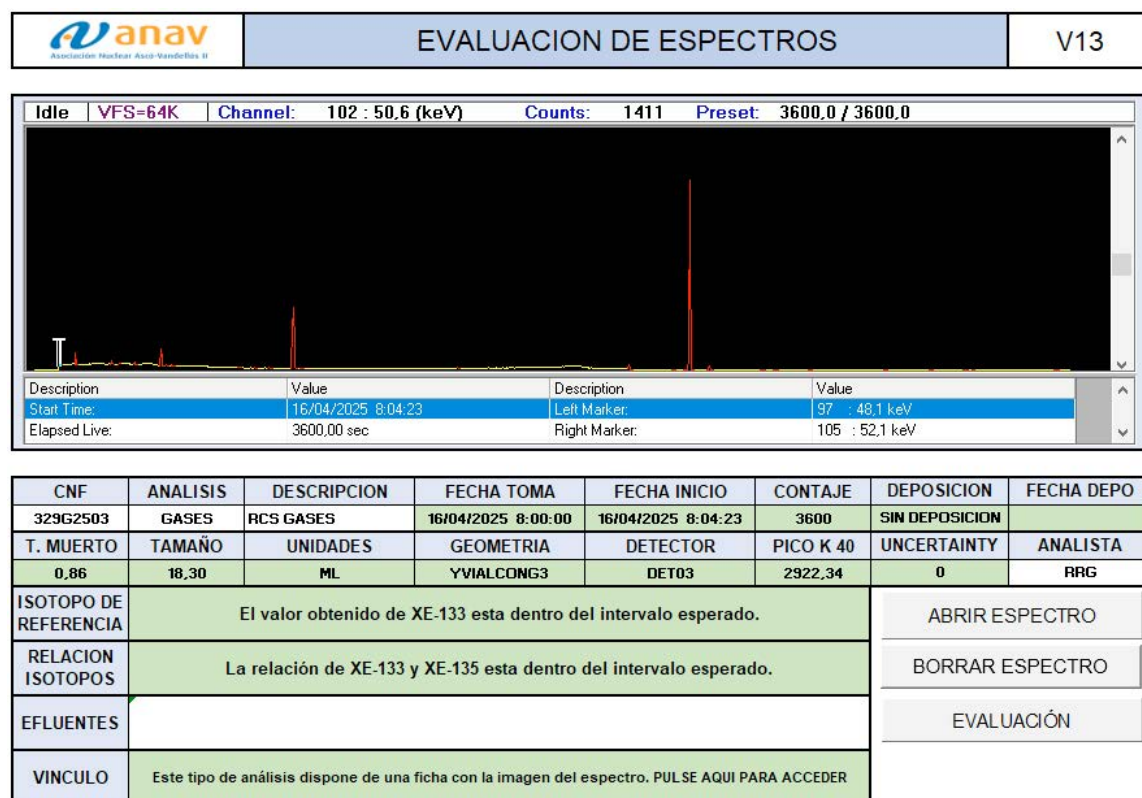


Figura 5. Ejemplo de autoverificación tras corrección del análisis.

Como dijo Albert Einstein: “Una locura es hacer la misma cosa una y otra vez esperando obtener resultados diferentes. Si buscas resultados distintos, no hagas siempre lo mismo”. Y en nuestro caso, hicimos algo diferente.

REFERENCIAS

- [1] Dupont, G. (1993). The Dirty Dozen: 12 Common Causes of Human Error in Aviation Maintenance. Transport Canada.
- [2] Reason, J. (1990). Human Error. Cambridge University Press.
- [3] Shingo, S. (1986). Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System. Productivity Press.
- [4] LaHurd, D., Yu, N., Kolar, M.D., Murray, E.J., Meier, T., Chao, S.T., Suh, J.H., & Xia, P. (2019). Using Automatic Plan Consistency Check (APCC) to Reduce Errors in Treatment Plans. Cleveland Clinic, Department of Ra-

diation Oncology. Presentado en congreso (probablemente ASTRO).

- [5] Risueño González, R., Hortigüela Martínez, R., & Suja Moraga, H. (2024). Reduciendo el error humano en espectrometría gamma. 50ª Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española. Córdoba, España. ■

AGRADECIMIENTOS

Esta herramienta no habría sido posible sin el compromiso de quienes la usaron desde el primer día como si fuera suya. A todos los compañeros del Departamento de Química y Radioquímica de la Central Nuclear de Ascó que confiaron en la V12: gracias. Este trabajo también es vuestro.