

Sección V: La Ciencia al Servicio de la Justicia.**VALIDEZ DE LOS RESULTADOS DE UN ANALISIS**

*Dr. Rigoberto Blanco Sáenz.
Sección de Investigaciones Toxicológicas. Depar-
tamento de Laboratorios de Ciencias Forenses.
O.I.J.*

En algunas oportunidades el legista se ve en la necesidad de tomar decisiones con base en el resultado de un análisis, y para que sus conclusiones sean válidas, su interpretación debe ser fiel a lo que el analista ha expresado a través de ese resultado.

Todo resultado de un análisis acarrea un cierto grado de incertidumbre. Esta incertidumbre proviene de dos fuentes: los errores que se cometen al obtener las mediciones y las limitaciones inherentes al proceso de medición. Los errores pueden ser sistemáticos, que en principio pueden asignarse a causas identificables y corregibles; e indeterminados o al azar, ocasionados por variables no controlables. Mientras que los primeros pueden evitarse, los segundos son la causa mayor de la dispersión en los resultados. Por otro lado, la certeza con que se conoce el resultado de una medición depende también del instrumento de medida: de la fineza de su escala y de su sensibilidad a la propiedad física que se utiliza como índice de medición. Podemos ilustrar lo anterior considerando el proceso de medición más simple: la medida de una longitud. Podemos utilizar varios instrumentos de medida: la mano, una regla escolar, o un catetómetro. Al utilizar cualquiera de los anteriores aparatos siempre hacemos lo mismo: comparamos el objeto medido con la escala del

aparato, haciendo uso de nuestra vista para decidir el comienzo y el fin de la distancia que deseamos medir. Nuestro resultado estará tanto más cercano al valor real desconocido, cuanto más fina sea la escala del instrumento y mejor podamos discernir la coincidencia del cero de nuestra escala con el inicio del objeto y la división de la misma que mejor coincida con el final. Podemos mejorar ambas cosas: el instrumento de medida y la sensibilidad, sustituyendo al ojo por un instrumento óptico más sensible.

El analista trata de estimar el efecto de estos factores haciendo medidas duplicadas y demostrando su reproducibilidad, para así aumentar la confianza en el resultado. De esta manera expresa la reproducibilidad de los resultados por medio de la precisión y la coincidencia con el valor real mediante la exactitud. Tanto precisión como exactitud son dos términos usados por el lego en forma indiscriminada y dan lugar a mucha confusión, pues designan cosas diferentes: el resultado de un análisis puede ser preciso pero poco exacto. Esto lo podemos ilustrar con el juego de dardos: un jugador es preciso si logra que todos sus tiros caigan en una pequeña área, pero sólo será preciso y exacto si esta área coincide con el centro del blanco; asimismo, un jugador poco preciso, cuyos

tiros se dispersan por todo el blanco, puede, por azar, ser exacto en uno de sus tiros al atinar el blanco.

De lo anterior se ve que la mayor dificultad al interpretar un análisis es estimar su error, o diferencia con el valor real, a partir de la precisión de las medidas hechas. Para hacer esto el analista controla las condiciones experimentales de tal manera que solamente se presenten errores fortuitos, esto le permite utilizar planteamientos estadísticos en la evaluación de sus resultados.

(La suposición básica es que la pequeña muestra de datos es representativa de una población muy grande y puede relacionarse con ésta a través de métodos estadísticos).

Un ejemplo: el asesinato de John F. Kennedy.

Uno de los informes rendidos por la comisión Warren sobre el asesinato del presidente Kennedy nos permite ilustrar los conceptos anteriores.

Los rasgos generales son conocidos por la mayoría, lo mismo que las conclusiones más impor-

tantes: se comprobó que el rifle Mannlicher-Carcano encontrado en el depósito de libros pertenecía a Oswald (se encontró la huella de su palma en el mismo); que los casquillos Western Cartridge Co (WCC) de 6.5 mm encontrados en el mismo lugar donde se encontró el rifle se dispararon con él; y que el proyectil extraído del gobernador Connally, así como dos fragmentos grandes encontrados en la limosina presidencial, habían sido disparados por el rifle en cuestión. Claramente Oswald parecía ser el único asesino o al menos uno de los asesinos. También se recuperaron otros fragmentos en la limosina, en el cerebro del presidente y en la muñeca del gobernador. Estos fragmentos se sometieron a un análisis químico no destructivo, para determinar si provenían del mismo proyectil, o tipo de munición, para descartar la participación de más de un tirador en el asesinato.

Los resultados de este análisis se dan en la tabla 1.

Muestra	ppm Ag	grupo 1	ppm Sb		
			grupo 2	grupo 4	grupo 4
Q1	9,4 0,3	945 16	1002 13	813 43	705 54
Q9	9,2 0,1	977 24	1090 37	773 22	676 14
Q2	7,9 0,9	745 16	747 20	626 57	534 30
Q4,5	8,5 0,4	784 5	858 46	614 37	561 32
Q14	8,5 0,2	793 10	879 33	629 18	562 21

TABLA 1. Resultados del análisis de fragmentos de proyectil realizados por el FBI en 1964. Como criterio se toma el contenido de plata (Ag) y antimonio (Sb), en varios grupos de mediciones, expresado como partes por millón (ppm), es decir, miligramos por kilogramo.

Los datos se dan con un más menos, éste se llama desviación estándar y es una medida de la dispersión de los resultados de una misma determinación. Es una medida de la precisión; por ejemplo, en la muestra Q2 se obtiene un valor para la plata de 7,9 0,9 ppm, ¿cómo se interpreta esto? Se puede interpretar como que el contenido real de plata está en el intervalo 8,8 a 7,0 ppm; pero de una manera más correcta, se debe interpretar que de 1000 mediciones que realice el analista, puede esperar que 317 se encuentren fuera del ámbito; o de otra manera, que en una medición en particular, hay una probabilidad de 0.683 de que la medida caiga dentro del ámbito determinado por la desviación estándar. La única manera de mejorar el resultado es aumentar el número de mediciones, controlando los errores sistemáticos, de tal manera que la desviación estándar refleje el comporta-

miento fortuito del error, y los resultados puedan evaluarse utilizando pruebas de significación, que consideran el tamaño de la muestra y la dispersión de los resultados.

Consideremos los resultados para el antimonio (Sb). En este caso diferentes grupos de análisis para una misma muestra dan resultados que no coinciden, es decir, son poco precisos, y por lo tanto no son útiles para concluir algo. Este comportamiento se debe a que la técnica utilizada en esa oportunidad no había sido bien desarrollada, no se habían controlado los errores sistemáticos y los instrumentos de medición no eran muy sensibles. Sin embargo, podríamos concluir que los fragmentos son cualitativamente "similares" en composición y podrían provenir todos del mismo proyectil. De esta manera en el informe de la comisión

Warren no se excluyó la posibilidad de que fueran varios los proyectiles y los francotiradores.

Trece años después, cuando la tecnología permitió aumentar la sensibilidad de los instrumentos,

y se detectaron y eliminaron fuentes de error sistemático, los fragmentos se sometieron a un nuevo análisis, obteniéndose en esa oportunidad los resultados de la tabla 2.

Muestra	ppm Ag	ppm Sb	Descripción de la muestra
Q1 CE-399	8,8 0,5	833 9	Proyectil extraído del gobernador Connally.
Q9 CE-842	9,8 0,5	797 7	Fragmentos de la muñeca del gobernador.
Q2 CE-567	8,1 0,6	602 4	Fragmento grande encontrado en la limosina.
Q4,5 CE-843	7,9 0,3	621 4	Fragmentos encontrados en el cerebro del presidente Kennedy.
Q14 CE-840	8,2 0,4	642 6	Fragmentos pequeños encontrados en la limosina.

TABLA 2. Resultados del análisis de los fragmentos de proyectil realizados en la Universidad de California en 1977. Se utiliza el mismo criterio de la tabla 1. (1).

Veamos lo que comenta el analista sobre sus resultados: *"Las conclusiones que se derivan de este resultado —interpretadas en el contexto de mis anteriores mediciones utilizando proyectiles WCC disparados por rifles MC— son definitivas y claras: todas las muestras procedentes de Dallas están en el ámbito de concentraciones poco frecuente (aunque no necesariamente único) de los proyectiles de plomo WCC/MC; y los especímenes muestran clara evidencia de la presencia de dos, y sólo dos, proyectiles WCC/MC uno de composición 815 ppm de Sb y 9,3 ppm de Ag, y otro de composición 622 ppm de Sb y 8,1 ppm de Ag"*.

¿Qué le permite concluir de manera tan definitiva, si viendo los resultados de la tabla 2 pareciera

que las muestras son diferentes (por ejemplo, las muestras Q2, Q4 y Q14 en contenido de antimonio)? A esta conclusión se llega por medio de una prueba de significación estadística, que toma en cuenta la dispersión de los resultados —su desviación estándar— eliminando la posibilidad de cualquier duda razonable. El problema en la interpretación está en lo que se va a entender por duda razonable. Para esto se utilizan diferentes niveles de confianza: 95, 99, 99,9 por ciento. Generalmente se utiliza un nivel de confianza del 99 por ciento, con el que se garantiza la confianza de equivocarse solo una vez en cada cien.

Ilustremos esto con los resultados para la plata (tabla 2) en las muestras Q1 y Q9:

Muestra	Número de determinaciones	Promedio	Desviación estándar
Q1	4	8,8	0,5
Q9	5	9,8	0,5

y supongamos que planteamos la hipótesis de que ambos fragmentos provienen del mismo proyectil, eliminando la posibilidad de cualquier duda razonable bajo un nivel de confianza dado: 95, 99, 99,9

por ciento. La prueba consiste en calcular una cantidad que llamaremos t y compararla con un valor ya establecido por la teoría estadística:

Nivel de confianza	t calculada	t predicha (2)	hipótesis
95 por ciento	4,97	2,365	rechazada
99 por ciento	4,97	3,355	rechazada
99,9 por ciento	4,97	5,041	aceptada

De acuerdo con los resultados la hipótesis se acepta bajo un nivel de confianza del 99,9 por ciento, pero se rechaza bajo los niveles de confianza de 95 y 99 por ciento. La aparente contradicción se aclara si consideramos que este nivel es una medida de la confianza del analista en sus métodos y procedimientos de análisis. Este tipo de conclusión nos muestra que los criterios estadísticos no son más que eso: criterios. No nos pueden decir con absoluta certeza si un resultado es absolutamente válido o no. Solamente podemos dar la probabilidad de que sea válido, basándose en las hipótesis fundamentales de interpretación del resultado de un análisis: primero, que el mismo tiene incertidumbre, segundo, que el valor absoluto de cualquier propiedad característica no es medible, y tercero, que la pequeña muestra con la que podemos humanamente trabajar es estadísticamente representativa.

Otro ejemplo: para meditar.

Un fiscal de juicio usó como su principal prueba la presencia de pequeños fragmentos de vidrio, que se encontraron en las ropas del acusado, y los

que se suponía eran idénticos en composición química a los de un cristal poco común que se encontraba formando parte de una ventana quebrada durante el crimen.

El resultado del análisis químico realizado para cinco elementos, y por triplicado, fue el que se muestra a continuación:

Elemento	Concentración (ppm)		Desviación estándar
	ropas	ventana	
Arsénico	1290	1090	95
Cobalto	0,45	0,60	0,17
Lantano	3,92	3,61	0,09
Antimonio	2,75	1,50	1,46
Torio	0,61	0,81	0,08

¿Con base en este informe podrá el abogado defensor alegar duda razonable en favor del acusado? ¿Es adecuado un nivel de confianza del 99 por ciento?

El lector tiene la palabra.

BIBLIOGRAFIA

1—V.P. Guin, *Analytical Chemistry*, 51, 484A, (1979).

1—B. Ostle, *Estadística Aplicada*, Limusa, México D.F., 1979.
