



DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA DE AGENTES QUÍMICOS

Aspectos generales

CR-05/2009



MINISTERIO
DE TRABAJO
E INMIGRACIÓN



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO

Autoras:

M^a José Quintana San José
Begoña Uribe Ortega
Natividad Montes Beneitez

Dirección y coordinación de la colección:

M^a José Quintana
Departamento de Contaminantes y Toxicología – Centro Nacional de Verificación de Maquinaria
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

Edita:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
C/ Torrelaguna, 73 – 28027 Madrid

NIPO: 792-10-017-9

DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA DE AGENTES QUÍMICOS

Aspectos generales

0 INTRODUCCIÓN

La incertidumbre de medida es el parámetro fundamental admitido internacionalmente para caracterizar la calidad del resultado de una medición. La evaluación de la incertidumbre de medida es un requisito exigido en las normas de calidad para cualquier tipo y campo de medida.

El conocimiento de la incertidumbre es esencial para la interpretación de los resultados de medida. Sin una evaluación cuantitativa de la incertidumbre, no es posible decidir si las diferencias observadas entre resultados reflejan algo más que la variabilidad experimental, o si se cumplen las reglamentaciones basadas en límites, como es el caso de la evaluación de la exposición a agentes químicos. Cuando no se dispone de información sobre la incertidumbre, existe el riesgo de interpretar erróneamente los resultados y tomar decisiones incorrectas que pueden dar lugar a consecuencias adversas para la salud.

La confianza sobre los resultados de medida exigida en el artículo 5.2 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, requiere la evaluación cuantitativa de su calidad que, a su vez, necesita la evaluación de la incertidumbre de medida. El destinatario de los resultados necesita la incertidumbre junto con el resultado para tomar decisiones correctas en la comparación con los valores límite de exposición a agentes químicos. El emisor de los mismos la necesita para conocer la calidad de sus propias medidas y mejorar respecto a la calidad requerida.

En este documento se tratan aspectos generales de la determinación de la incertidumbre de medida de agentes químicos y se indica el procedimiento general para el cálculo de la misma, basado en las guías de ISO y de EURACHEM y en las normas europeas del CEN/TC 137. La metodología que se propone hace uso de la información que se obtiene durante la validación del método así como de la que se genera en el laboratorio durante su implantación y uso. Está prevista la publicación de números posteriores dedicados a los diferentes tipos de mediciones de agentes químicos, cuyo objetivo es proporcionar una metodología adecuada, práctica, entendible y común para el cálculo de la incertidumbre que cubra todas las etapas del método de medida, desde la toma de muestra hasta la emisión del resultado expresado en las unidades del correspondiente valor límite.

1 ASPECTOS GENERALES DE LA DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

1.1 Términos y definiciones

Para los objetivos de este documento, se aplican los términos y definiciones dados en la *Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM)* y en el *Vocabulario Internacional de Metrología (VIM)*.

1.1.1 Mensurando

Magnitud particular objeto de medición.

1.1.2 Incertidumbre de medida

Parámetro asociado al resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurando.

1.1.3 Incertidumbre típica

Incertidumbre del resultado de una medición, expresada en forma de desviación típica.

1.1.4 Incertidumbre típica combinada

Incertidumbre típica del resultado de una medición, cuando el resultado se obtiene a partir de los valores de otras magnitudes, igual a la raíz cuadrada de una serie de términos, siendo éstos las varianzas o covarianzas de esas otras magnitudes, ponderadas en función de la variación del resultado de medida con la variación de dichas magnitudes.

1.1.5 Incertidumbre expandida

Magnitud que define un intervalo en torno al resultado de una medición, y en el que se espera encontrar una fracción importante de la distribución de valores que podrían ser atribuidos razonablemente al mensurando.

1.1.6 Factor de cobertura

Factor numérico utilizado como multiplicador de la incertidumbre típica combinada, para obtener la incertidumbre expandida.

1.1.7 Error de medida

Diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia.

1.1.8 Desviación típica experimental

Para una serie de n mediciones de un mismo mensurando, la magnitud $s(x)$ que caracteriza la dispersión de los resultados, dada por la fórmula:

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

1.1.9 Varianza

Medida de la dispersión, igual a la suma de los cuadrados de las desviaciones de las observaciones con respecto a su valor medio, dividido por el número de observaciones menos uno.

1.2 Concepto de incertidumbre

El resultado de una medición es, en general, una aproximación o estimación del valor de la magnitud que se mide (mensurando) y, únicamente, se puede considerar completo cuando está acompañado de una declaración acerca de la incertidumbre de dicha estimación.

La incertidumbre del resultado de una medición refleja la imposibilidad de conocer exactamente el valor del mensurando. El concepto de incertidumbre se introdujo para expresar la duda asociada al número obtenido como resultado de una medición. El *intervalo de incertidumbre* es una estimación del área en la que se espera que se encuentre el valor verdadero de la medición realizada, y siempre lleva un signo más / menos (\pm). Difiere del *error* en que éste es la diferencia entre el valor observado y el valor verdadero y, por tanto, es una cantidad positiva o negativa (Figura 1).

La incertidumbre representa el grado de confianza y fiabilidad de un resultado y, por tanto, constituye una medida cuantitativa de la calidad de ese resultado. En general, cuanto menor sea la incertidumbre mayor será la calidad del resultado. Hay que tener en cuenta que la calidad es un concepto relativo; mayor o menor calidad depende de lo que se considera aceptable, por razones prácticas o técnicas, en cada campo de medida y lo

que es calidad alta (incertidumbre baja) para un resultado puede ser calidad baja o inaceptable (incertidumbre alta o inaceptable) en otro.

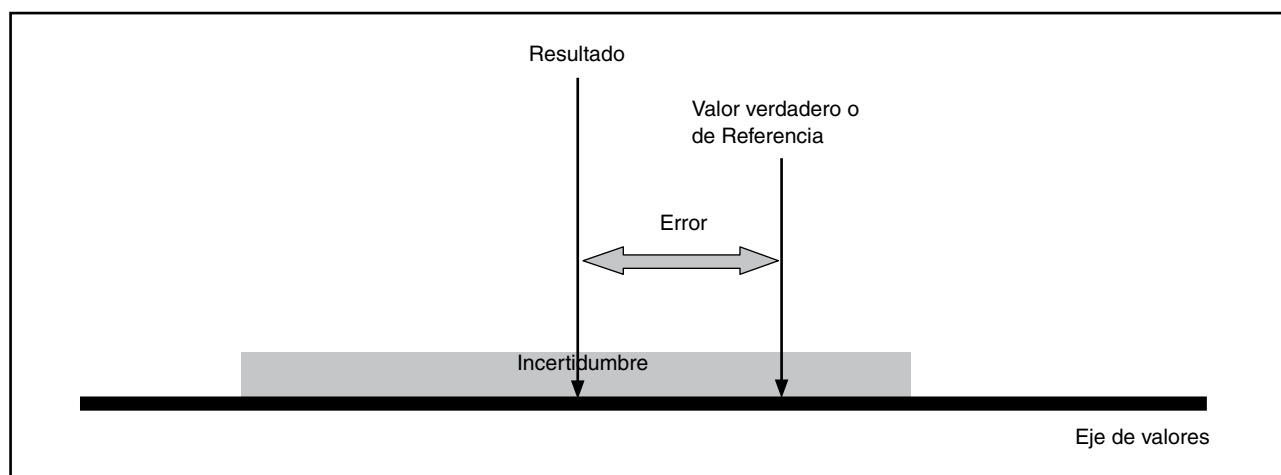


Figura 1. Representación de la incertidumbre y el error de un resultado de medida

1.3 Principios para el cálculo de la incertidumbre

Para determinar la incertidumbre de medida deben considerarse todas las fuentes de incertidumbre potenciales y, por tanto, deben estudiarse todas las etapas del método de medición.

La incertidumbre de medida está formada, en general, por muchos componentes. Para realizar una estimación de la incertidumbre, deben seguirse los pasos siguientes:

- especificación del mensurando,
- identificación de las principales fuentes de incertidumbre,
- cuantificación individual de cada componente,
- combinación de las componentes para obtener la *incertidumbre típica combinada*, u_c , y
- cálculo de la *incertidumbre expandida*, U .

1.3.1 Especificación del mensurando

En la mayor parte de los casos, la magnitud a medir (mensurando) no se mide directamente, sino que se calcula a partir de otras N magnitudes de entrada X_1, \dots, X_N , que a su vez pueden depender de otras magnitudes, por lo que se debe escribir de forma clara la relación existente entre la magnitud que se va a medir y las magnitudes de entrada de las que depende, en la forma $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$. La función f debe contener todas las magnitudes susceptibles de contribuir a un componente significativo de la incertidumbre, incluyendo todas las correcciones y factores de corrección.

Y y X_i representan las magnitudes a medir (como, por ejemplo, la concentración de un agente químico en la atmósfera de trabajo, o la cantidad del mismo retenida en el soporte de muestreo), mientras que para representar las estimaciones de dichas magnitudes (valores medidos, calculados o estimados) se emplean los símbolos (y) y (x_i) , como por ejemplo $y = 2,3 \text{ mg/m}^3$ de formaldehído en aire o $x_i = 0,65 \text{ } \mu\text{g}$ formaldehído en la muestra.

1.3.2 Identificación de las fuentes principales de incertidumbre

Algunas fuentes de incertidumbre se identifican fácilmente de las fórmulas utilizadas para obtener el resultado de medida. Cualquier cambio en las variables incluidas en las fórmulas afectará directamente al resultado y producirá un cambio en el mismo.

Otras fuentes de incertidumbre se pueden identificar por el examen cuidadoso de cada una de las etapas del método de medición.

La Guía EURACHEM/CITAC CG4 (QUAM) recomienda listar, por ejemplo mediante un diagrama causa – efecto, todas las posibles fuentes que contribuyen a la incertidumbre.

1.3.3 Cuantificación de las componentes individuales de la incertidumbre

Cada una de las fuentes de incertidumbre identificadas contribuirá a la incertidumbre total del resultado. La forma de cuantificar cada componente depende de la información de la que se disponga (Tabla 1).

Si se dispone de datos experimentales de medidas repetidas, pueden utilizarse métodos estadísticos. En caso contrario, hay que utilizar otros métodos basados en la experiencia, mediciones anteriores, juicio profesional, etc. Para ello es necesario asimilar la información disponible a una distribución conocida, normalmente rectangular o triangular (Anexo I). Independientemente del tipo de evaluación utilizado, cada componente de la incertidumbre se caracteriza como una desviación típica que se llama incertidumbre típica, $u(x_i)$.

Fuente de información	Evaluación (GUM)	Herramientas	Incertidumbre expresada como
Datos experimentales de medidas repetidas	Tipo A	Métodos estadísticos ANOVA	Desviación típica
Otras fuentes, por ejemplo: - datos de mediciones anteriores, - informes de calibración, - tolerancias de materiales y equipos	Tipo B	Juicio basado en la experiencia para asimilar la información a una distribución conocida, normalmente rectangular o triangular	Desviación típica

Tabla 1. Tipo de evaluación según las fuentes de información disponibles

Al igual que las desviaciones típicas, las incertidumbres pueden expresarse en valor absoluto o relativo. En este documento y en los siguientes de la misma serie, así como en el ya publicado sobre la incertidumbre de medida del volumen de aire muestreado, se emplean los símbolos $u(y)$ o $u(x_i)$ para la incertidumbre típica en valor absoluto, y u_y o u_{x_i} para la correspondiente incertidumbre típica relativa.

1.3.4 Combinación de las componentes de la incertidumbre

Todas las componentes individuales de la incertidumbre se estiman como desviaciones típicas, por lo que su combinación se hace en términos de varianzas. La *incertidumbre típica combinada*, u_c , es la raíz cuadrada de la suma de las varianzas correspondientes a las componentes cuantificadas, ponderadas en función de los coeficientes de sensibilidad y equivale, por tanto, a una desviación típica, tal y como se indica en la ecuación (1).

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 u(x_i)^2} \equiv \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2(y)} \quad (1)$$

Donde:

c_i es el coeficiente de sensibilidad de x_i . Describe como varía la magnitud a medir Y (mensurando) en función de las variaciones en los valores de X_i .

La ecuación (1) expresa la ley de propagación de la incertidumbre, y requiere calcular el coeficiente de sensibilidad de cada variable ya sea mediante el cálculo matemático de las derivadas parciales de Y frente a cada una de las variables X_i o bien experimentalmente, midiendo la variación de (y) producida por una variación de (x_i) dada, manteniendo constante el resto de las variables.

La ecuación (1) se simplifica en los dos casos siguientes:

a) cuando la relación entre la magnitud que se desea medir (Y) con las variables de entrada (X_i) únicamente incluye adiciones y sustracciones, es decir, es del tipo: $Y = X_1 + X_2 - X_3$, la ecuación (1) se transforma en la ecuación (2)

$$u_c(y) = \sqrt{u(x_1)^2 + u(x_2)^2 + u(x_3)^2} \quad (2)$$

b) cuando la relación entre el mensurando (Y) y las variables de entrada (X_i) incluye únicamente multiplicaciones y divisiones, por ejemplo $Y = (X_1 * X_2) / X_3$, la ecuación (1) puede escribirse como la ecuación (3.a) o (3.b), dependiendo de la notación utilizada (véase 1.3.3)

$$\frac{u_c(y)}{|y|} = \sqrt{\left[\frac{u(x_1)}{x_1}\right]^2 + \left[\frac{u(x_2)}{x_2}\right]^2 + \left[\frac{u(x_3)}{x_3}\right]^2} \quad (3.a)$$

$$u_{c,y} = \sqrt{u_{x_1}^2 + u_{x_2}^2 + u_{x_3}^2} \quad (3.b)$$

Se recomienda, en la medida de lo posible, que la función matemática que define la relación del mensurando Y con las magnitudes X_i se escriba de forma que pueda descomponerse en este tipo de expresiones.

1.3.5 Cálculo de la incertidumbre expandida

La práctica habitual es que la incertidumbre se proporcione como un intervalo de confianza alrededor del resultado de medida (Figura 1), por lo que la incertidumbre típica combinada se multiplica por un factor de cobertura, k , para obtener la *incertidumbre expandida*, U .

Se recomienda tomar para k un valor entre 2 y 3, lo que proporciona intervalos de confianza aproximados de 95 % a 99 %.

2 INCERTIDUMBRE DE MEDIDA DE AGENTES QUÍMICOS

En el campo de la evaluación de la exposición a agentes químicos en los lugares de trabajo, el resultado de medida que se requiere es, en general, la concentración del agente químico en aire, en la zona de respiración del trabajador o en el ambiente general dependiendo del objetivo de la evaluación.

La concentración del agente químico en aire se obtiene como cociente entre la masa presente en la muestra analizada por el procedimiento analítico adecuado al agente químico y el volumen de aire muestreado por lo que, para calcular la incertidumbre de medida de agentes químicos, deben considerarse todos los factores, tanto de la toma de muestra como del análisis y del transporte y almacenamiento, que puedan tener influencia sobre estas dos variables, masa recogida y volumen de aire muestreado.

Algunos de los factores más importantes son:

- eficacia de la toma de muestra,
- estabilidad del caudal de la bomba de muestreo,
- concentración ambiental del agente químico,

- condiciones ambientales (humedad, temperatura, etc.),
- presencia de otros compuestos en el ambiente o en la muestra o en los reactivos utilizados,
- condiciones de transporte y almacenamiento,
- eficacia del tratamiento de la muestra para su análisis,
- limitaciones y características de la técnica analítica utilizada,
- variabilidad aleatoria de la toma de muestra y el análisis,
- calibración de equipos de toma de muestra y análisis.

La toma de muestra y el análisis, generalmente, se ejecutan por personas u organizaciones diferentes por lo que, para obtener estimaciones fiables de la incertidumbre de medida y utilizarlas adecuadamente, es recomendable una efectiva comunicación entre los implicados.

Hay dos situaciones básicas de cara a plantear como calcular la incertidumbre de medida de agentes químicos: validación de métodos y utilización de los mismos.

2.1 Validación de métodos

El aspecto de mayor importancia respecto de la estimación de la incertidumbre a partir de los datos de validación es la *representatividad* del estudio de validación. El estudio debería estar planteado de forma que permita una investigación realista del número y rango de los efectos que actúan durante el uso normal del método, cubriendo el intervalo de concentración, humedad, temperatura y tipos de muestras de su campo de aplicación. Si la validación está adecuadamente planteada, los resultados de la validación permiten estimar los principales componentes de la incertidumbre.

Los estudios de validación producen datos, sobre el funcionamiento global del método y sobre los factores de influencia, que pueden utilizarse para estimar la incertidumbre asociada a los resultados que se obtienen en el uso previsto del mismo. Así, por ejemplo, en los estudios de validación para métodos cuantitativos en el campo del análisis químico, normalmente, se determina alguno de los parámetros siguientes:

- precisión,
- sesgo,
- linealidad,
- límite de detección (LOD),
- robustez o resistencia frente a factores determinados y
- selectividad y especificidad.

Todos ellos son, en general, de utilidad para la estimación de la incertidumbre. La linealidad y el límite de detección, aunque son parámetros importantes de un método, tienen poco interés desde el punto de vista del cálculo de la incertidumbre.

Precisión

La **precisión** se obtiene, en general, como una desviación típica. Dependiendo del diseño del experimento, puede obtenerse como desviación típica de la repetibilidad o de la reproducibilidad o como una precisión intermedia (UNE 82009). *La precisión observada de un método es un componente esencial de la incertidumbre*, tanto si está determinada por combinación de las varianzas individuales asociadas a los diferentes efectos o del estudio del método completo.

Por ejemplo, la desviación típica de los resultados de n muestras, tomadas simultáneamente en una atmósfera de ensayo de concentración conocida, será una estimación de la precisión del método. Si se trata de

la desviación típica de los resultados de n disoluciones patrón, será una estimación de la precisión analítica, y si se trata de la desviación típica de los resultados de n análisis del mismo patrón, será una estimación de la precisión instrumental.

Sesgo

El **sesgo** se suele expresar como una recuperación (valor observado dividido por valor esperado). Si el sesgo no es despreciable, es decir, si es significativamente superior a la precisión del ensayo, debería corregirse, pero, si no se corrige, deberá considerarse como un componente de la incertidumbre. En cualquier caso, la incertidumbre asociada a la determinación del sesgo es un *componente esencial de la incertidumbre*.

Robustez o resistencia frente a factores determinados

Algunos métodos requieren que se investigue directamente su **sensibilidad respecto de algunos parámetros** (temperatura, presión, almacenamiento, etc.). Si el efecto es significativo (comparado con la precisión del ensayo), se debe cuantificar y, de acuerdo con el resultado, elegir el intervalo de operación permitido. Los datos de un ensayo de este tipo pueden por tanto proporcionar información sobre los efectos de los parámetros de interés.

Por ejemplo, un sesgo significativamente superior al 10 % en el resultado de muestras analizadas 14 días después de ser tomadas supone reducir el tiempo de almacenamiento a un periodo en el que el sesgo sea inferior al 10%.

Selectividad y especificidad

Los términos **selectividad y especificidad** se relacionan con el grado con el que un método responde únicamente al analito de interés. Los ensayos de selectividad por lo general investigan los efectos de las interferencias potenciales por lo que, si se conoce el rango esperable de las concentraciones de los interferentes, es posible la utilización de estos datos para estimar la incertidumbre asociada a sus efectos.

2.1 Utilización del método validado

Durante la utilización del método, pueden darse situaciones diferentes a las de validación o puede ser necesario obtener resultados en condiciones diferentes. En estos casos, y de acuerdo con lo que indican las normas de calidad (UNE-EN-ISO 17025), debería procederse a validar las nuevas condiciones con lo que se generarían datos que permitirían obtener las componentes adicionales o modificar la estimación realizada inicialmente, según el caso.

También pueden darse condiciones diferentes a las de validación, bien porque los datos de validación no procedan del propio laboratorio o, aunque procedan, se han podido realizar cambios en los equipos, material, reactivos u operadores. El tiempo también debería considerarse como una fuente de incertidumbre potencial cuando se pretenda que la evaluación de la incertidumbre tenga validez para periodos de tiempo determinados. Para estimar las componentes asociadas al efecto del tiempo y de otros efectos, puede ser muy útil la información que proporcionan los controles de calidad interno (por ejemplo, cartas de control) y los estudios interlaboratorios.

3 INCERTIDUMBRE DE LOS MÉTODOS DE TOMA DE MUESTRA Y ANÁLISIS DEL INSHT

En los Métodos de Toma de muestra y Análisis (MTA) publicados por el INSHT, se incluyen los ensayos de validación realizados y los valores obtenidos para las características del método así como los valores de la incertidumbre¹ estimados de los resultados de estos ensayos. Como se ha indicado en 2.1, el aspecto de mayor importancia respecto de la estimación de la incertidumbre es la *representatividad* del estudio de *validación*. Para

¹ Para los Métodos de Toma de muestra y Análisis (MTA) publicados a partir de 2010. Está prevista una revisión de los anteriores.

estudiar el método en condiciones lo más próximas a las condiciones reales de utilización, la validación de los métodos para la medición de los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo requiere el uso de instalaciones especiales como sistemas de atmósferas controladas y túneles de viento.

En el caso de los métodos para gases y vapores se utiliza un sistema de atmósferas controladas que permita generar concentraciones diferentes de los agentes químicos en el intervalo de interés (0,1 VL a 2 VL), variar las condiciones de temperatura y humedad y alojar simultáneamente, al menos, seis muestreadores de ensayo y, en caso necesario, seis muestreadores de un método independiente. En la mayoría de los casos, los métodos de gases y vapores utilizan métodos cromatográficos, lo que, normalmente, posibilita la instalación de un equipo analítico en línea con el sistema de atmósferas controladas y permite obtener los valores de precisión y sesgo del método completo (toma de muestra y análisis).

Para los métodos de medición de aerosoles, por una parte, la utilización de diferentes técnicas analíticas (AA, RX, UV,...), que dependerá del agente químico concreto, y, por otra, la necesidad de verificar la adecuación del muestreador a la fracción por tamaño que pretenda muestrear, no hace posible la validación conjunta de la toma de muestra y el análisis. Normalmente, la información del muestreador la debería proporcionar el fabricante y los datos de precisión y sesgo junto con la información del procedimiento analítico se combinan para obtener la estimación de la incertidumbre de medida.

En ambos casos, la integridad de la muestra durante el transporte y el almacenamiento requiere ensayos independientes.

La validación del método (es decir, su adecuación a los objetivos de la medición) y la evaluación de su incertidumbre están relacionadas ya que el estudio de validación debe verificar que se cumplen los requisitos de incertidumbre. Los requisitos de la norma UNE-EN 482:2007 se pueden resumir en que los valores de la incertidumbre deben ser inferiores a los especificados en dicha norma para todo el campo de aplicación del método (0,1 VL a 2 VL) considerando todas sus etapas (toma de muestra, transporte y almacenamiento y análisis) en las condiciones, ambientales y otras, típicas de su uso. También requiere que los ensayos se diseñen para obtener valores de precisión y sesgo del método en condiciones representativas de las muestras reales cubriendo el campo de aplicación del método y los intervalos de los factores de influencia conocidos (por ejemplo, humedad ambiental) como más importantes para cada tipo de medición. En resumen, del estudio de validación se deben obtener los valores de precisión y recuperación del método y los efectos del almacenamiento y de los parámetros de influencia.

Por otra parte, el estudio completo de validación se realiza normalmente entre uno y varios meses, por lo que el efecto del tiempo está incluido en los valores de precisión del método.

4 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA POR EL USUARIO DE LOS MTA

Como se ha indicado en el apartado anterior, los ensayos de validación de los métodos de medición de agentes químicos para evaluar la exposición laboral requieren el uso de instalaciones (sistemas de atmósferas controladas, túneles de viento) que normalmente los usuarios de los métodos (organizaciones o laboratorios que trabajan en el ámbito de la higiene industrial) no tienen disponibles. El usuario de los MTA puede utilizar total o parcialmente las estimaciones de la incertidumbre dadas en el MTA combinándolas con sus propios datos.

La utilización de los datos del MTA requiere que el usuario:

- Confirme que la implantación del método se ha hecho de acuerdo con la descripción del mismo y que las características de equipos, material y reactivos utilizados son adecuadas. La confirmación debería realizarse verificando sus propios valores de sesgo y precisión analítica y la adecuación de equipos, material y reactivos utilizados. Esto confirmaría que los datos publicados en el MTA son aplicables a los resultados del laboratorio.

- Identifique cualquier influencia sobre los resultados no contemplada en la validación del método y cuantifique la varianza asociada.

La estimación de la incertidumbre se haría combinando la incertidumbre combinada del método con la de las influencias no contempladas en la validación en la forma descrita en 1.3.4. La incertidumbre expandida se obtendrá aplicando el factor de cobertura $k = 2$.

La situación más habitual es tomar las estimaciones de las componentes de la incertidumbre que no pueden ser habitualmente obtenidas por el usuario y combinarlas con los datos obtenidos durante la implantación y uso del método. Se recomienda esta última opción. En la Tabla 2 se indican las componentes de la incertidumbre que se recomienda tomar del MTA o evaluar por el usuario.

Los procedimientos detallados para el cálculo de la incertidumbre de medida de agentes químicos se publicarán en números posteriores de esta colección.

Fuente de incertidumbre	Origen de la información		Observaciones
	MTA	Usuario	
Volumen de aire muestreado		X	El usuario tiene que determinar la incertidumbre del volumen de aire muestreado a partir de los datos de sus equipos (bombas, cronómetro y medidor de caudal).
Eficacia del muestreo	X		El usuario no podrá, normalmente, disponer de sus propios datos para determinar las componentes de la incertidumbre asociada a la eficacia del muestreo.
Almacenamiento y transporte	X		En el caso que el tiempo de almacenamiento del usuario sea igual o menor que el máximo estudiado en la validación del MTA, puede utilizar el valor dado en el MTA.
Recuperación analítica		X	El usuario tiene que determinar la incertidumbre asociada a la recuperación analítica a partir de los datos obtenidos con sus soportes de muestreo y equipos de análisis.
Sesgo del método	X		El usuario no podrá, normalmente, disponer de sus propios datos para determinar el sesgo del método. Puede hacer uso de la información del MTA.
Precisión del método	X		El usuario no podrá, normalmente, disponer de sus propios datos para determinar la precisión del método. Puede hacer uso de la información del MTA.
Efecto de otros parámetros (por ejemplo: humedad, temperatura)	X		El usuario no podrá, normalmente, disponer de sus propios datos para determinar los efectos de otros parámetros sobre el método. Puede hacer uso de la información del MTA.
Variabilidad analítica		X	El usuario tiene que determinar la incertidumbre asociada a la variabilidad analítica a partir de los datos obtenidos con su material, reactivos y equipos.

Tabla 2. Recomendaciones para la estimación de la incertidumbre de medida por el usuario de los MTA

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

Legislación

- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. BOE nº 27 31/01/1997
- Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. BOE nº 104 01/05/2001

Normas

- UNE-EN 482:2007 Atmósferas en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos para la medición de agentes químicos.
- UNE-EN 1232:1997 Atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para el muestreo personal de los agentes químicos. Requisitos y métodos de ensayo.
- UNE-EN 12919:1999 Atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para el muestreo de los agentes químicos con un caudal volumétrico superior a 5 l/min. Requisitos y métodos de ensayo.
- UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.
- UNE 82009 (partes 1-6) Exactitud (veracidad y precisión) de resultados y métodos de medición.

Publicaciones del INSHT (www.insht.es)

- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. *Métodos de Toma de Muestra y Análisis*. INSHT. Colección 1987 - 2009.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. *Límites de exposición profesional para agentes químicos en España*. INSHT 2009.
- Uribe, B. y Quintana M.J. *Criterios y Recomendaciones. Bombas de muestreo personal para agentes químicos. CR-01/2005*. INSHT 2005.
- Uribe, B. y Quintana M.J. *Criterios y Recomendaciones. Determinación de la incertidumbre de medida de agentes químicos. Incertidumbre del volumen de aire muestreado. CR-04/2008*. INSHT 2008.

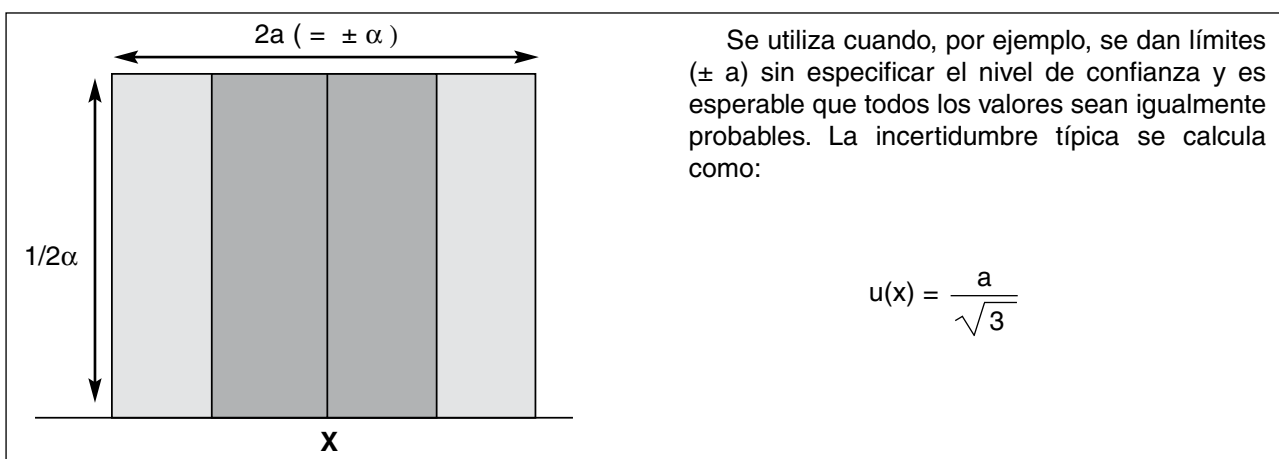
Otras publicaciones

- International Organization for Standardization (ISO). *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)*. 1993. [Versión en español: Centro Español de Metrología. *Guía para la expresión de la incertidumbre de medida*. 2000]
- Centro Español de Metrología. *Vocabulario Internacional de Metrología – Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM)*. 2008.
- EURACHEM. *EURACHEM/CITAC Guide CG 4. Quantifying uncertainty in analytical measurement (QUAM)*. 2000.
- Cortez, L. "Future trends in analytical quality assurance -the estimation of uncertainty". *Mikrochimica Acta*, **119**, 323-328. 1995.

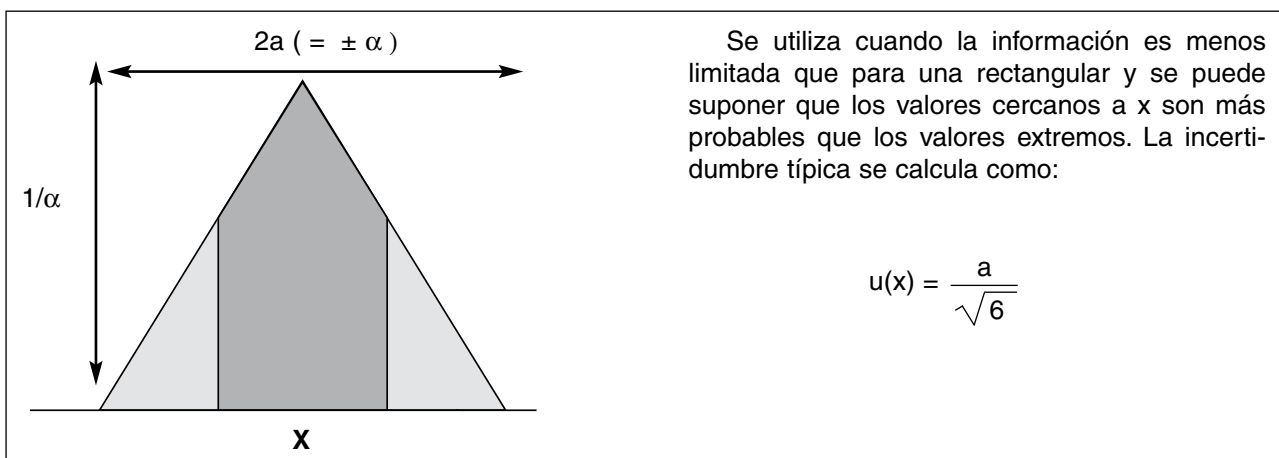
ANEXO A

En este anexo se muestra cómo calcular la incertidumbre típica a partir de los parámetros de las funciones de distribución más importantes, indicando cuándo se usaría cada una de ellas en función de la información disponible.

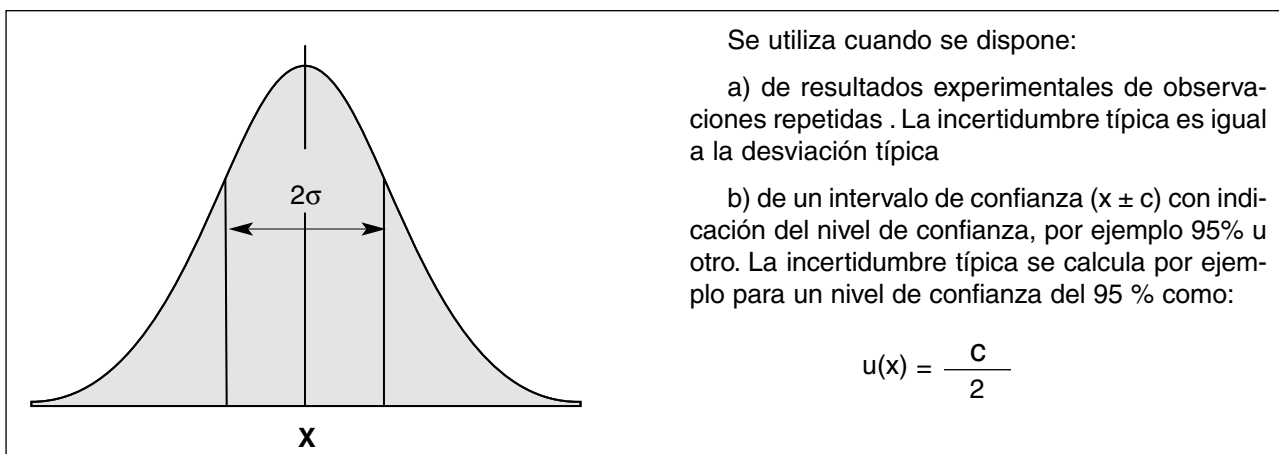
DISTRIBUCIÓN RECTANGULAR



DISTRIBUCIÓN TRIANGULAR



DISTRIBUCIÓN NORMAL





MINISTERIO
DE TRABAJO
E INMIGRACIÓN



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO