

# ¿ERRORES O INCERTIDUMBRE?

## ¿ERRORS OR UNCERTAINTY?

H. BORROTO<sup>†</sup>, O. CALZADILLA

Facultad de Física, Universidad de La Habana, 10400 La Habana, Cuba; hborroto@fisica.uh.cu<sup>†</sup>

<sup>†</sup> autor para la correspondencia

Recibido 16/3/2017; Aceptado 25/10/2017

PACS: Errors in physics, 01.50.Zv; Measurement and error theory, 06.20.Dk; Measurement units and standards, 01.40.gb; Laboratory course design, organization, and evaluation, 01.50.Qb

El desarrollo científico que ha alcanzado la sociedad moderna está basado en la comprobación experimental de todo conocimiento. Para ello se han tenido que implementar novedosas técnicas de medición y de evaluación de la dispersión de los valores medidos de manera que sean repetibles y confiables.

Para evaluar la dispersión de los valores de una magnitud medida se utiliza la "incertidumbre de medida". Aunque en ocasiones se utiliza el "error" para referirse a esta dispersión, lo cual crea confusión en el tratamiento de los datos experimentales.

Para evitar esta y otras ambigüedades que son inherentes al uso de la Teoría de Errores, a petición del Buró Internacional de Pesas y Medidas, se elaboró la Guía para la Evaluación de la Incertidumbre en la Medición [1] (GUM por sus siglas en inglés) y el Vocabulario Internacional Metroológico [2] (VIM por sus siglas en inglés).

En el presente trabajo, se analizan las definiciones de error e incertidumbre, se aclara el significado de cada uno de estos términos en el tratamiento de los datos experimentales según la GUM y se pone de relieve las características fundamentales del tratamiento de las incertidumbres que lo diferencia del tratamiento de la Teoría de Errores.

Definiciones del VIM:

**Mensurando:** magnitud que se desea medir.

**Valor verdadero:** valor de una magnitud compatible con la definición de la magnitud.

**Valor de referencia:** valor de una magnitud que sirve como base de comparación con valores de magnitudes de la misma naturaleza.

El valor de referencia puede ser un valor verdadero de un mensurando, en cuyo caso es desconocido, o un valor convencional, en cuyo caso es conocido.

**Error:** diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia.

**Incertidumbre:** parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.

### I. CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DEL TRATAMIENTO DE LAS INCERTIDUMBRES SEGÚN LA GUM

#### I.1. *Tratamiento estadístico de las incertidumbres. Incertidumbre Estándar*

Cuando se realiza una medición pueden existir diferentes fuentes de errores que afectan al mensurando: cada una de ellas viene dada por una "función densidad de probabilidad" (PDF) y la incertidumbre asociada a esa fuente de errores es la desviación estándar de la PDF asociada. Es decir, el cuadrado de la incertidumbre es la varianza de la PDF.

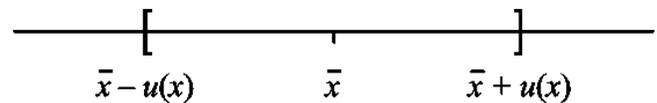


Figura 1. Intervalo que define a la incertidumbre estándar.

Las incertidumbres se clasifican de acuerdo con el método utilizado para su evaluación en: Evaluación Tipo A de la incertidumbre estándar o Evaluación Tipo B de la incertidumbre estándar. En el primer caso la función densidad de probabilidad se determina a partir de los valores medidos y se dice que la incertidumbre se ha evaluado a partir de un método estadístico, esto es: calcular la desviación estándar de la media de una serie de observaciones independientes, utilizar el método de los mínimos cuadrados para estimar los parámetros de ajuste de una curva y determinar sus desviaciones estándar y cuando se efectúa un análisis de varianza (ANOVA). En el segundo caso se utiliza la estadística hecha con anterioridad a la medición y reportada en alguna literatura científica.

#### I.2. *Propagación de la incertidumbre. Incertidumbre Estándar Combinada*

Si la función de medición que describe a la magnitud bajo medición es multivariable  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ , la Incertidumbre Estándar Combinada  $u_c(y)$  se define como la

desviación estándar de la función de medición  $u_c(y) = \sigma_y$ . Utilizando el desarrollo en serie de Taylor de primer orden de la función la incertidumbre estándar al cuadrado se expresa en función de las varianzas y covarianzas de las diferentes fuentes de errores:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j), \quad (1)$$

donde  $u(x_i)$  es la incertidumbre estándar de la variable  $x_i$  evaluada en su valor medio:  $u(x_i, x_j)$  es la covarianza entre las variables  $x_i$  y  $x_j$ .

La incertidumbre estándar combinada va a estar definida en el primer intervalo de confianza de la PDF que represente a la función de medición y es la forma de propagación de la incertidumbre. **La incertidumbre estándar combinada es la herramienta que permite la evaluación de la incertidumbre estándar en magnitudes de medición directa, indirecta (funciones de multivariables) y ajustes.**

### 1.3. Incertidumbre Expandida

El carácter estadístico que presenta la incertidumbre permite expandirla a diferentes intervalos de confianza

$$U = k u_c(y). \quad (2)$$

Esto es, el valor de la magnitud medida se puede encontrar en diferentes intervalos, en dependencia de la probabilidad de aparición que se requiera reportar. El valor de  $k$  representa el nivel de confianza deseado.

## II. DIFERENCIAS ENTRE EL ERROR Y LA INCERTIDUMBRE

En la Fig. 1 se representa el valor de la magnitud medida (o mejor valor) por  $\bar{x}$  y la incertidumbre de la medición por  $u(x)$ . La incertidumbre estándar es la probabilidad de encontrar el mejor valor en el primer intervalo de confianza de la PDF. El

error, cuando es conocido, fija una cota máxima de variación de la magnitud.

En el tratamiento de los Errores se admite la influencia de los errores sistemáticos y aleatorios pero no existe una regla única para combinarlos de manera que se pueda obtener el "error total". Por medio de este método lo que se estima es un límite superior del valor del error total o cota máxima del error. Si se utiliza la incertidumbre estándar combinada los errores sistemáticos y aleatorios, se pueden combinar de forma única y evaluar la incertidumbre que afecta al valor de la medición.

A diferencia del error que en caso de tener un valor es constante, la incertidumbre depende de la probabilidad de ocurrencia con que se desea reportar.

La GUM y el VIM representan un acuerdo internacional para tener un lenguaje común en el tratamiento de los datos experimentales que tienen repercusión en la ciencia, la tecnología y el comercio. Utilizar "el error" para referirse a la dispersión de valores de una magnitud bajo medición resulta inadecuado en el contexto de este acuerdo.

La confiabilidad que incorpora el enfoque de la incertidumbre para reportar el valor del mensurando es un aspecto que distingue a la incertidumbre del error.

De acuerdo con la GUM y el VIM, el error es el responsable de la dispersión de los valores y la incertidumbre es la forma de evaluar este efecto.

## REFERENCIAS

- [1] Centro Español de Metrología. Evaluación de datos de medición - Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida, 3rd Ed. (2009).
- [2] Centro Español de Metrología. Vocabulario Internacional de Metrología - Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados, 3rd Ed. (2012).