

# ERROR, INCERTIDUMBRE, PRECISIÓN Y EXACTITUD, TÉRMINOS ASOCIADOS A LA CALIDAD ESPACIAL DEL DATO GEOGRÁFICO

Antonio Miguel Ruiz Armenteros

Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Jaén  
amruiz@ujaen.es

José Luis García Balboa

Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Jaén  
jlbalboa@ujaen.es

José Luis Mesa Mingorance

Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Jaén  
jlmesa@ujaen.es

**RESUMEN:** Todo dato geográfico capturado debería ir acompañado de un valor cuantitativo que nos dé una idea de su calidad, es decir, de un parámetro que caracterice la dispersión del valor. Este parámetro se denomina incertidumbre de medida. Para la evaluación de esta incertidumbre existe una norma internacional (Guía para la evaluación de la incertidumbre de medida, GUM) que presenta un tratamiento homogéneo, riguroso y unificado. Existen una serie de términos relacionados con la incertidumbre de medida como son error, precisión y exactitud que deben tratarse con cuidado, evitando su confusión y usándolos de manera consistente a como se definen en otros documentos internacionales. La definición de todos ellos viene recogida en el Vocabulario internacional de Metrología. En muchos documentos técnicos es frecuente la utilización incorrecta de todos estos conceptos. En el presente trabajo se realiza una revisión de los conceptos de error, precisión y exactitud, que junto al de incertidumbre, deben tratarse de manera consistente en el ámbito de la Geomática.

**Palabras clave:** incertidumbre, error, precisión, exactitud, GUM.

## 1. INTRODUCCIÓN

La metrología es la ciencia de la medida cuyos objetivos más importantes son el resultado de la medición y la incertidumbre de medida. Estos aspectos están ampliamente tratados, homogeneizados y consensuados en este campo. La Geomática aglutina un conjunto de ciencias (Topografía, Cartografía, Geodesia y Fotogrametría) en las cuales se integran, entre otros, los medios de captura, tratamiento y análisis de la información geoespacial. Por tanto, todos los conceptos sobre medición y evaluación de la incertidumbre de medida en el ámbito de la metrología son de aplicación directa al campo de la Geomática.

Todo dato geográfico capturado por cualquier medio debería ir acompañado de un valor cuantitativo que nos dé una idea de su calidad, es decir, de un parámetro que caracterice la dispersión de los valores que podrían atribuirse razonablemente al mismo. En tal momento se entiende que el resultado de la medición está completo. La evaluación de este parámetro de calidad debe realizarse de la forma más rigurosa posible ya que determinará la metodología de captura más adecuada a cada caso concreto.

Este parámetro, la *incertidumbre*, es el objeto principal de la *Guía para la expresión de la incertidumbre de medida*, comúnmente denominada GUM (ISO, 2008), elaborada conjuntamente por diversas organizaciones internacionales (Oficina Internacional de Pesas y

Medidas BIPM, Organización Internacional de Metrología OIML, Organización Internacional de Normalización ISO,...) y adoptada en la actualidad por un gran número de prestigiosas sociedades científicas internacionales. La GUM, publicada en 1993 y revisada en 1995 y 2008, representa la referencia más completa y aceptada actualmente sobre cómo expresar la *incertidumbre* de medida. De aplicación fundamental en metrología, está pensada para que se pueda aplicar a la mayoría de los resultados de medida, incluyendo p. ej., los resultados asociados a la investigación básica y aplicada, y a la ingeniería. La importancia de esta guía es que es universal, y por tanto, aplicable a todo tipo de mediciones y a todo tipo de datos de entrada.

Existen una serie de términos relacionados con la incertidumbre de medida como son *error*, *precisión*, *exactitud*, *repetibilidad*, *reproducibilidad*, etc., que deben tratarse con cuidado, evitando su confusión y usándolos de manera consistente a como se definen en otros documentos internacionales. La definición de todos ellos viene recogida en el *Vocabulario internacional de Metrología – Conceptos fundamentales y generales y términos asociados* (3<sup>a</sup> edición) (ISO, 2007), comúnmente conocido como VIM. El VIM debe acompañar siempre a la GUM ya que los dos documentos son complementarios y han sido publicados por la ISO en representación de otras muchas organizaciones internacionales.

En muchas ocasiones, para evaluar, la calidad de los datos capturados se realiza lo que se denomina un estudio de errores de medida con la finalidad de cuantificar la imperfección del método e instrumento utilizado. Realmente se trata, desde el enfoque de la incertidumbre, de contribuciones a la incertidumbre. Además, se suelen utilizar expresiones convencionales para calcular el límite máximo de los distintos errores mezclando las probabilidades de cobertura de los mismos. Estos aspectos son incompatibles con la aplicación de la ley de propagación de las incertidumbres la cual requiere aplicar rigurosamente la misma probabilidad de cobertura a las incertidumbres de todas las variables de partida, además de trabajar con desviaciones típicas, dejando los valores máximos (o incertidumbres expandidas a la probabilidad de cobertura que se desee) para los valores finales de la propagación. Teniendo en cuenta este tratamiento, y la existencia de normas internacionales para la evaluación de la incertidumbre de medida (ISO 2008, 2007), se hace aconsejable una revisión en este ámbito.

Así pues, el objetivo principal de este artículo es el de exponer el concepto de incertidumbre de medida así como analizar la forma de evaluarla según la GUM, pasando del tradicional enfoque del “error” al enfoque de la “incertidumbre”. Así mismo, se trata de poner de manifiesto su relación con otros términos relacionados con ella como son error, precisión y exactitud.

## 2. CONCEPTO DE INCERTIDUMBRE Y TÉRMINOS RELACIONADOS

### 2.1. Error e incertidumbre

En la literatura técnica y científica, el término *error* se utiliza frecuentemente con dos significados bastante diferentes. En algunos casos se utiliza para cuantificar la diferencia entre el resultado de una medida y el considerado como valor de la misma (valor verdadero, valor real o estándar) mientras que en otras se utiliza para denominar la incertidumbre del resultado de una medida, es decir, para cuantificar la imperfección del método e instrumento de medida empleado. Los términos error e incertidumbre no son sinónimos, sino que representan conceptos completamente distintos, y por tanto, no deben confundirse entre sí ni utilizarse incorrectamente, uno en lugar del otro (CEM, 2000). A este respecto, el VIM define el término *error de medida* como la diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de

referencia (valor convencional o valor verdadero), mientras que define la *incertidumbre de medida* como un parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza. Si bien el error es teóricamente desconocido, la incertidumbre sí que puede ser evaluada. Conviene no confundir también el error de medida con un error humano o equivocación.

Por tanto, puesto que al utilizar el término error, existe siempre la posibilidad de confundir una incertidumbre con esa diferencia, se sugiere (Burns y otros, 1973) que cuando se trate de evaluar la calidad del resultado de una medida se utilice el término incertidumbre en lugar del término error. De esta manera, sería más apropiado denominar al término “*análisis o propagación de errores*”, cuando se refiere al estudio y evaluación de las incertidumbres que afectan a todas las medidas, como “*análisis o propagación de incertidumbres*”.

El error de medida tiene dos componentes, el error sistemático y el error aleatorio. A modo de ejemplo, para aclarar estos conceptos, supóngase que se captura un dato, como puede ser la longitud de una distancia, con un determinado método e instrumento obteniendo una medida muy exacta. Considerando todas las correcciones necesarias, su valor final es de 317,518 m con una incertidumbre muy pequeña, casi despreciable, digamos por debajo de la décima de milímetro. Por tanto, la longitud 317,518 m se considerará como el valor de referencia de la distancia en cuestión.

Supóngase, que con posterioridad se realiza una medición de esa distancia con otro instrumento, resultando un valor de 317,515 m. El error de medida de este resultado es de  $(317,515 - 317,518) \text{ m} = -0,003 \text{ m}$ . Una segunda medición da un valor medido de 317,514 m, con un error medido de  $(317,514 - 317,518) \text{ m} = -0,004 \text{ m}$ . Tras tomar 200 medidas y sacar un promedio se obtiene un valor de 317,516 m con un error de medida de  $(317,516 - 317,518) \text{ m} = -0,002 \text{ m}$ . Este sesgo de medida, cuyo valor es de -0,002 m es el denominado *error sistemático de medida*, definido en el VIM como la componente del error de medida que, en mediciones repetidas, permanece constante o que varía de manera predecible. Así pues, queda claro que el error sistemático permanece constante independientemente del número de medidas, por lo que si en lugar de 200, se hubiesen realizado otro número mayor, este error no tendería a cero. El VIM aclara que el valor de referencia para un error sistemático puede ser un valor verdadero, un valor medido de un patrón cuya incertidumbre de medida es despreciable, o un valor convencional. El error sistemático y sus causas pueden ser conocidos o no, y para compensarlo se aplica una corrección, la cual lleva siempre asociada una determinada incertidumbre. La incertidumbre de todas las correcciones necesarias a aplicar a una medida habrá que considerarlas en la evaluación de la incertidumbre de la medida en cuestión. El error sistemático es igual a la diferencia entre el error de medida y el error aleatorio que se verá a continuación.

Volviendo de nuevo a los resultados individuales de los valores medidos, el primero fue de 317,515 m. Con respecto al promedio (317,516 m), su error es de  $(317,515 - 317,516) \text{ m} = -0,001 \text{ m}$ . Este valor sería el denominado *error aleatorio de medida*, definido en el VIM como la componente del error de medida que, en mediciones repetidas, varía de manera impredecible. Por tanto, para la segunda medida el error aleatorio de medida sería de  $(317,514 - 317,516) = -0,002 \text{ m}$ , y así sucesivamente. El valor de referencia para un error aleatorio es la media que se obtendría de un número infinito de mediciones repetidas del mismo mensurando. El error aleatorio, diferencia entre el error de medida y el error sistemático, se supone que procede de variaciones impredecibles o estocásticas de las magnitudes de influencia de carácter temporal y espacial. Los efectos de tales variaciones, denominados efectos aleatorios, dan lugar a variaciones en las observaciones repetidas de un mensurando. Aunque no es posible compensar el error aleatorio del resultado de una medida, habitualmente, puede reducirse incrementando el número de observaciones (CEM, 2000). Los errores aleatorios de un conjunto de mediciones

repetidas forman una distribución que puede representarse por su esperanza matemática, generalmente nula, y por su varianza.

Así pues, el error de medida para el resultado de una medición individual es igual a la suma del error sistemático y el error aleatorio. En el caso de la primera medida, el error de medida es por tanto de  $(-0,002 - 0,001) = -0,003$  m. Queda claro que incertidumbre y error son conceptos muy diferentes si bien están relacionados entre sí. El resultado de una medición podría tener un error muy pequeño y una incertidumbre elevada. Por el contrario, podría tener una incertidumbre muy pequeña y un error grande. Sin embargo, esto significaría que al menos un efecto sistemático importante podría haberse pasado por alto. En cualquier caso, el error cometido al realizar varias veces una misma medición no es siempre el mismo puesto que los errores aleatorios provocan que el error cometido en cada una sea diferente. Sin embargo, si las mediciones se han llevado a cabo con el mismo instrumento y método de medida, tendrán la misma incertidumbre pero no tienen por qué tener el mismo error asociado.

En algunas ocasiones se asocian los términos aleatorio y sistemático al término incertidumbre hablando de incertidumbre aleatoria e incertidumbre sistemática. Estos términos deben aplicarse al término error y nunca al de incertidumbre.

## 2.2. Incertidumbre, precisión y exactitud

Incertidumbre, precisión y exactitud son ejemplos de términos que representan conceptos cualitativos, y por tanto, no deben expresarse numéricamente (Taylor y Kuyatt, 1994) evitando asociar números con ellos. No deben confundirse entre sí, ya que su significado es distinto. Es habitual la utilización indistinta de los términos de precisión y exactitud, lo cual no es correcto.

El VIM define la *exactitud de medida* como la proximidad existente entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando. Así pues, una medición es más exacta cuanto más pequeño es el error de medida. Se suele decir también que una medida es más exacta cuando ofrece una incertidumbre de medida más pequeña, aunque no siempre es así como se ha mencionado anteriormente.

El VIM, en su tercera edición (2007), define el concepto *precisión de medida* como la proximidad existente entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones específicas. Estas condiciones se denominan principalmente condiciones de repetibilidad, o de reproducibilidad, y por tanto, frecuentemente, el término precisión denota simplemente repetibilidad, es decir, está asociado a la dispersión de las mediciones reiteradas, la cual es habitual expresarla numéricamente mediante medidas de dispersión tales como la desviación típica, la varianza o el coeficiente de variación bajo las condiciones especificadas. Al igual que los otros términos, al tratarse de un término cualitativo, no deberían asociarse números con él, por lo que la sentencia “la precisión de medida de un ángulo es de 25<sup>cc</sup>” sería incorrecta. Debería decirse, p. ej., “la precisión de medida de un ángulo, expresada como una desviación típica obtenida bajo condiciones de repetibilidad, es de 25<sup>cc</sup>” (Taylor y Kuyatt, 1994). Es decir, habría que especificar qué medida de dispersión se está asociando al término precisión y bajo qué condiciones de medida se está empleando. Las condiciones de repetibilidad de una medición incluyen (ISO, 2007) el mismo procedimiento de medida, los mismos operadores, el mismo sistema de medida, las mismas condiciones de operación y el mismo lugar, así como mediciones repetidas en un corto período de tiempo. Por el contrario, las condiciones de reproducibilidad (ISO, 2007) de una medición incluyen diferentes lugares, operadores, sistemas de medida y mediciones repetidas de los mismos objetos u objetos similares.

Una importante distinción entre exactitud y precisión es que la exactitud puede determinarse con una sola medida, mientras que para evaluar la precisión se necesitan varias medidas (repetibilidad), no pudiéndose hablar de precisión para una sola medida. En cuanto a la incertidumbre de medida, ésta puede evaluarse también para una sola medida combinando de manera adecuada todas las contribuciones a la incertidumbre provenientes de las fuentes de incertidumbre consideradas.

El concepto de incertidumbre es más amplio que el de precisión, ya que la incertidumbre incluiría, además de todas las fuentes provenientes de los efectos aleatorios, todas las fuentes de incertidumbre provenientes de las correcciones efectuadas a la medida por los errores sistemáticos, tal y como se ha indicado en la sección anterior.

Finalmente, es conveniente realizar una aclaración acerca del término cualitativo “alta precisión”, que es habitualmente utilizado para referirse a instrumentos o metodologías de medida. Es correcto su uso para referirse a una dispersión muy pequeña en mediciones sucesivas en condiciones de repetibilidad o reproducibilidad. En cambio, sería más correcto utilizar “alta exactitud” si lo que se quiere indicar es una diferencia muy pequeña respecto al valor real o de referencia, máxime si se aplica a una sola medida.

### 2.3. Evaluación de la incertidumbre de medida

Respecto a la *incertidumbre de medida*, el parámetro que la caracteriza cuantitativamente puede ser p. ej., una desviación típica (o un múltiplo de ella), o la semiamplitud de un intervalo de valores con una probabilidad de cobertura determinada. Al igual que antes, al ser la incertidumbre como tal, un término cualitativo, la sentencia “la incertidumbre de medida de un ángulo es de 25<sup>cc</sup>”, p.ej., sería incorrecta. Debería usarse “la incertidumbre de medida de un ángulo, expresada como una desviación típica, es de 25<sup>cc</sup>” o bien simplemente, “la incertidumbre típica de medida de un ángulo es de 25<sup>cc</sup>”. A este respecto, la GUM (ISO, 2008) introduce el término de *incertidumbre típica de medida* (standard uncertainty) para evaluar cuantitativamente la calidad del resultado de una medida mediante una desviación típica. También establece que la magnitud utilizada para expresar la incertidumbre debe ser transferible, es decir, debe ser posible utilizar directamente la incertidumbre evaluada para un resultado, como componente en la evaluación de la incertidumbre de otra medición en la que intervenga ese primer resultado, utilizando el método convencional para combinar las desviaciones típicas, esto es, la “ley de propagación de las incertidumbres” (LPU), cuya denominación es más apropiada, por cuanto se ha expuesto, que la que convencionalmente se utiliza como “ley de propagación de errores”.

La ecuación de la ley de propagación de las incertidumbres exige que la incertidumbre de la estimación de una magnitud de entrada se evalúe en forma de desviación típica. Si en lugar de esto, se toma cualquier otra alternativa considerada como más segura, ésta no podrá utilizarse en la ecuación de la ley de propagación de las incertidumbres (CEM, 2000). Así, por ejemplo, si en esta ecuación se utiliza el “límite máximo de error” (la mayor desviación permitida respecto a la mejor estimación supuesta), la incertidumbre resultante tendrá un resultado mal definido y será inutilizable por cualquiera que desee introducirla en cálculos posteriores de incertidumbres de otras magnitudes.

Con su publicación en el año 1993, la GUM establece, en un método unificado y acordado internacionalmente, conceptos, recomendaciones y procedimientos para la evaluación y expresión de la incertidumbre de medida, desechando la teoría clásica de errores sistemáticos y aleatorios.

En su última revisión publicada en 2008 (ISO, 2008), la cual es la versión de 1995 con pequeñas correcciones, la GUM determina que la incertidumbre del resultado de una medida se puede descomponer generalmente en varias componentes, las cuales se podrían agrupar en dos categorías según el método utilizado para evaluar sus valores numéricos:

- Tipo A, aquéllas que son evaluadas por métodos estadísticos. Cada componente de la incertidumbre que contribuye a la incertidumbre del resultado de una medida se representa mediante una desviación típica, denominada incertidumbre típica de medida, cuyo símbolo se sugiere utilizar  $u_i$ , que equivale a la raíz cuadrada positiva de la varianza estimada  $u_i^2$ . Las correlaciones entre las componentes se caracterizan mediante las correspondientes covarianzas estimadas o los coeficientes de correlación estimados. La evaluación tipo A de la incertidumbre típica de medida se puede basar en cualquier método estadístico válido de tratamiento de datos, como por ejemplo, calcular la desviación típica de la media de una serie de observaciones independientes realizadas bajo condiciones de medida definidas, usar el método de ajuste por mínimos cuadrados con el fin de estimar el valor de los parámetros y sus desviaciones típicas, o llevar a cabo un análisis de varianzas con el fin de identificar y cuantificar los efectos aleatorios en determinados tipos de medidas.
- Tipo B, aquéllas que se evalúan por otros métodos. La evaluación tipo B de la incertidumbre típica de medida se basa en el juicio científico utilizando toda la información relevante disponible, la cual podría incluir:
  - mediciones previas,
  - experiencia, o conocimiento general del comportamiento y propiedades de materiales relevantes e instrumentos,
  - especificaciones del fabricante,
  - datos provenientes de calibraciones y otros informes, e
  - incertidumbres asignadas a datos de referencia tomados de manuales.

En Topografía, por ejemplo, una incertidumbre típica de medida tipo A se obtiene, por ejemplo, aplicando a una estación total, bajo unas determinadas condiciones específicas, un procedimiento como el que se define en la norma ISO 17123-3 (ISO, 2001) para conocer la incertidumbre de medida angular.

Un ejemplo de incertidumbre típica de medida tipo B sería el uso de las especificaciones del fabricante para una estación total (normalmente obtenidas en un laboratorio bajo condiciones específicas) o deducidas a través de nuestra experiencia personal. En la práctica diaria de la Topografía normalmente la evaluación de la incertidumbre es de tipo B.

Es importante reseñar que las evaluaciones tipo A basadas en un conjunto de datos no necesariamente han de ser más fiables que las evaluaciones de tipo B (Taylor y Kuyatt, 1994). La aplicación de una evaluación tipo A para cada mensurando requeriría mucho tiempo de trabajo, pudiéndose realizar sólo en determinados casos como p. ej., en el control geodésico de deformaciones. Comúnmente, las evaluaciones tipo B nos llegan desde las especificaciones del fabricante de instrumentos topográficos, obtenidas en laboratorio bajo condiciones específicas (p.e. la incertidumbre en la medida de la distancia de un distanciómetro), desde nuestra experiencia (p.e. la incertidumbre en la medida de la altura del instrumento) y desde tratados o libros (p.e. la incertidumbre en el centrado de un instrumento sobre el punto de estación).

Para el caso de una medida determinada indirectamente a partir de otras medidas individuales, se utiliza la *incertidumbre típica combinada de medida*, cuyo símbolo se sugiere  $u_c$ , y que representa la desviación típica del resultado, siendo una medida de incertidumbre ampliamente

utilizada. Si bien la GUM la denomina “combinada”, se trata simplemente de una incertidumbre típica de medida. Se obtiene combinando las incertidumbres típicas individuales de medida  $u_i$  (y covarianzas cuando correspondan), independientemente de que sean tipo A o tipo B, utilizando para ello la ley de propagación de las incertidumbres.

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

Esta ecuación se basa en la aproximación de primer orden de las series de Taylor de:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad [2]$$

donde  $Y$  es el mensurando determinado a partir de  $N$  cantidades de entrada  $X_1, X_2, \dots, X_N$  mediante una relación funcional  $f$ . De la ecuación [1], utilizando las estimaciones  $x_1, x_2, \dots, x_N$  para los valores de entrada, se obtiene una estimación del mensurando  $Y$ , representada por  $y$ . La estimación de salida, la cual es el resultado de la medida, viene dada por:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad [3]$$

Los símbolos  $\partial f / \partial x_i$  en la ecuación [1] se denominan frecuentemente como coeficientes de sensibilidad, los cuales representan las derivadas parciales  $\partial f / \partial x_i$  evaluadas en  $X_i = x_i$ . El símbolo  $u(x_i, x_j)$  designa la covarianza estimada asociada a  $x_i$  y  $x_j$ . En el caso en que no haya presentes correlaciones significativas, la ecuación [1] se reduce a:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)} \quad [4]$$

Para cuantificar la incertidumbre se prefiere el uso de desviaciones típicas frente a la utilización de intervalos de confianza, ya que el término “intervalo de confianza” tiene una definición muy específica en estadística y sólo se puede aplicar a intervalos basados en  $u_c$  cuando se cumplen ciertas condiciones incluyendo que todas las componentes de la incertidumbre que contribuyen a  $u_c$  se obtienen a partir de evaluaciones de incertidumbre tipo A. Por otro lado, la ley de propagación de las incertidumbres permite de forma simple e independiente del carácter poblacional que tenga cada componente individual, obtener la incertidumbre en medidas indirectas, ya que todas las incertidumbres típicas de medida son tratadas de igual forma cuando se calcula  $u_c$ . Esto no es posible, en general, si se utilizan intervalos de confianza en lugar de desviaciones típicas.

Finalmente, se determina la incertidumbre expandida de medida, cuyo símbolo sugerido es  $U$ , como medida de incertidumbre que define un intervalo sobre el resultado de medida “ $y$ ” dentro del cual se cree con certeza (con una alta probabilidad de cobertura) que estará el valor del mensurando  $Y$ ,  $y-U \leq Y \leq y+U$ , el cual se escribe comúnmente como  $Y = y \pm U$ . Se obtiene multiplicando  $u_c(y)$  por un factor de cobertura cuyo símbolo sugerido es  $k$  y su valor se establece en el rango de 2 a 3, lo que supone una probabilidad de cobertura aproximadamente del 95% al 99% ( $U = k u_c(y)$ ).

Idealmente, sería deseable elegir un valor específico de  $k$  que produjera un intervalo correspondiente a un nivel de confianza  $p$  bien definido, como el 95% o el 99%. De modo equivalente, dado un valor de  $k$ , sería deseable establecer inequívocamente el nivel de confianza

asociado al intervalo. Esto es difícil realizarlo en la práctica ya que requiere el conocimiento detallado de la distribución de probabilidad de cada una de las cantidades de las que depende el mensurando y combinar esas distribuciones para obtener la distribución del mensurando. De acuerdo a la práctica internacional actual, el valor de  $k$ , por convenio, se establece en  $k=2$ . Por ejemplo, se podría tomar un valor diferente de  $k$  para definir un nivel de confianza del 95% o 99%, obtenido a partir de la distribución  $t$ -student, cuando  $u_c$  tiene pocos grados de libertad. Si se asume que los resultados de las medidas se distribuyen según la normal, con una desviación típica aproximada  $u_c$ , el valor desconocido del mensurando puede considerarse que esté dentro del intervalo definido por  $U$  con un nivel de confianza, o probabilidad, de aproximadamente el 95% ( $k=2$ ). En cualquier caso, debería especificarse el valor del factor de cobertura  $k$  utilizado al igual que la probabilidad de cobertura aproximada, o nivel de confianza, del intervalo.

### 3. CONCLUSIONES

En este artículo se presenta una revisión de los conceptos más relacionados con la incertidumbre de medida como son error, precisión y exactitud. Se analiza cada uno de ellos de acuerdo a su uso en el campo de la metrología, siguiendo su definición según el VIM, y se revisa su correcto uso en el campo de la Geomática desde el punto de vista de su relación con la incertidumbre. También se revisa la metodología de evaluación de la incertidumbre de medida según la norma GUM con la finalidad de migrar la tradicional forma de evaluarla pasando de la filosofía del “error” a la filosofía de la “incertidumbre”, utilizando para ello la incertidumbre típica como valor cuantitativo que exprese la calidad del resultado de una medida.

### 4. REFERENCIAS

**Burns, J.E.; Campion, P.J.; Williams, A. (1973).** Error and uncertainty. *Metrologia*, 9, 101-102.

**CEM (2000).** *Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida*. Centro Español de Metrología. Madrid.

**ISO (2001).** *International Standard ISO 17123-3: 2001. Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 3: Theodolites*. International Standardization Organization.

**ISO (2007).** *International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms*. 3<sup>rd</sup> ed. (Geneva: ISO).

**ISO (2008).** *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. ISO/IEC 98-3 (Geneva: ISO).

**Taylor, B.N.; Kuyatt, C.E. (1994).** *Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results*. NIST Technical Note 1297. Washington.