

ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE EL TRATAMIENTO DE INCERTIDUMBRES EN LABORATORIOS DOCENTES DE FÍSICA

SOME THOUGHTS ON THE TREATMENT OF UNCERTAINTIES IN EDUCATIONAL PHYSICS LABORATORIES OF PHYSICS

J. B. CRUZ ARENCIBIA[†], J. J. LLOVERA GONZÁLEZ, J. M. LÓPEZ GUERRA

Departamento de Física, ICB, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba; juan@automatica.cujae.edu.cu

[†] autor para la correspondencia

Recibido 13/3/2020; Aceptado 7/6/2020

PACS: Physics education (enseñanza de la física), 01.40.-d; laboratory experiments (experimentos de laboratorio), 01.50.Pa; laboratory course design, organization, and evaluation (diseño, organización y evaluación de cursos de laboratorio), 01.50.Qb.

La Oficina Nacional de Normalización de Cuba elaboró en el 2015, la norma NC 1066:2015 [1], donde se propone cómo realizar el tratamiento y el reporte de las incertidumbres en las mediciones a tenor con la recomendación realizada sobre el tema por un comité de expertos de la ISO en el año 1993 y con los documentos "International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology" (VIM) y el "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" (GUM), que respectivamente regulan el vocabulario a utilizar y el enfoque estadístico para el tratamiento de las incertidumbres. En este trabajo utilizaremos la terminología de incertidumbres típicas evaluadas tipo A o tipo B, combinada y expandida tal y como se definen en [1].

Se hace necesario incluir el nuevo enfoque del tema de las incertidumbres en las mediciones en el currículo de los estudiantes, tanto en la enseñanza media como en la superior.

Nuestra enseñanza universitaria trabajó con profundidad durante varios años lo concerniente a la Teoría de Errores; publicaciones de la editorial Pueblo y Educación dan fe de estos esfuerzos, sirva de ejemplo [2]. En los últimos años se ha ido introduciendo el tema incertidumbres en nuestras universidades, constituyen ejemplos los esfuerzos de profesores de Física, tanto en la UH [3], como en la Cujae donde, entre otras acciones afines al tema, se ha elaborado un breviario en versión digital, en el cual se puede leer: "...a fin de que al procesar los datos en tus experimentos lo hagas en correspondencia con las normas que hoy están vigentes para esta actividad internacionalmente y en nuestro país" [4].

Apropiarse del lenguaje del VIM, así como las propuestas que se hacen en la GUM es una tarea compleja y requiere que se desarrollen actividades reguladas desde la didáctica. La necesidad del enfoque didáctico del tema en Cuba, a nuestro juicio, se sustenta entre otras razones en las dos siguientes: Generalmente los estudiantes se enfrentan por primera vez a una práctica de laboratorio al ingresar en la universidad y además los laboratorios de Física se imparten desde el primer año de la carrera, en tanto en la mayoría de las especialidades los fundamentos de Estadística se imparten en el segundo año.

El tema de los laboratorios de Física y su relación con el procesamiento de los datos experimentales donde se incluyan las recomendaciones de la ISO es un tema universal y de total actualidad.

Una serie de publicaciones hacen referencia a la necesidad de sustituir la forma tradicional de impartir los laboratorios por modos más acordes con el uso de las nuevas tecnologías, pero donde el tratamiento de las incertidumbres con vistas a lograr un profesional con una mejor percepción de la ciencia, juegue un papel relevante [5-7].

Otro aspecto interesante de las incertidumbres es su interdisciplinariedad, pues las regulaciones de la ISO se extienden a las más diversas ramas de la actividad social [8].

Consideramos que desde la didáctica, la concepción de la enseñanza en los laboratorios, además de caracterizarse por una correcta selección de los experimentos a realizar y una adecuada organización de las clases, debe garantizar que la elaboración de los documentos destinados a orientar a los estudiantes para su autopreparación estén regidos por los siguientes principios:

- Gradar adecuadamente los objetivos dirigidos al procesamiento de la data experimental.
- Concebir experimentos que manifiesten una alta repetitividad de los resultados, pero con suficiente aleatoriedad de modo que se justifique la realización de varias decenas de observaciones.
- Dejar explícito en las orientaciones los objetivos específicos que se persiguen con el procesamiento de datos.
- Concebir en los experimentos seleccionados el desarrollo de habilidades de medición tanto en el uso de instrumentos analógicos como de instrumentos digitales.

La gradación de la enseñanza del procesamiento de datos pudiera hacerse en tres niveles o etapas:

1ra. Concebir experimentos de aceptable aleatoriedad de los resultados donde en poco tiempo puedan realizarse decenas de observaciones, no menos de 30, de modo que se propicie el análisis de una posible fuente de distribución de probabilidades en los resultados. En esta etapa solamente incluir el cálculo de la incertidumbre típica evaluada tipo A. En la organización del laboratorio esto pudiera efectuarse en las dos primeras prácticas.

Desde esta etapa se debe fomentar en los estudiantes el análisis, al menos de forma cualitativa, de posibles fuentes de incertidumbres.

2da. En esta etapa concebir prácticas que posibiliten el cálculo de las incertidumbres típicas evaluadas tipos A y B así como la combinada y la expandida. En el tipo B al menos, incluir la asociada con la resolución del instrumento. Se puede introducir el tema de la propagación de las incertidumbres en casos sencillos y lo relacionado con la compatibilidad de sistemas de medición.

3ra. Introducir métodos gráficos para procesar datos experimentales. Incluir el método de ajuste lineal; especialmente el de los mínimos cuadrados por su utilidad en varios experimentos docentes. Ampliar la propagación de las incertidumbres a casos más complejos.

Como ejemplo se expone una práctica de laboratorio cuyo objetivo fundamental es la comprobación experimental de "La ley de conservación de la cantidad de movimiento lineal en un choque frontal". El experimento consiste en estudiar el choque frontal de dos deslizadores moviéndose horizontalmente sobre una pista de aire. El deslizador 1 recibe un impulso inicial "siempre en condiciones semejantes" en tanto el deslizador 2 está inicialmente en reposo. Se miden directamente la velocidad inicial del deslizador 1, v_{1ik} y las correspondientes velocidades finales de ambos deslizadores v_{1fk} y v_{2fk} en cada una de las 30 veces que se repite el experimento ($k = 30$).

Las masas m_1 y m_2 se miden una sola vez. Cada cantidad se reporta con cuatro cifras significativas.

Cada uno de los 30 valores de las cantidades de movimiento inicial p_{ik} y final p_{fk} , se calculan como:

$$p_{ik} = m_1 v_{1ik}, \quad p_{fk} = m_2 v_{2fk} \pm m_1 v_{1fk}, \quad (1)$$

Evidentemente el signo (-) responde al caso en que el deslizador 1 experimente retroceso después del choque. La data de una corrida experimental se muestra en la Tabla 1.

Los valores p_i y p_f se reportan como:

$$p_i = \bar{p}_i + U_{p_i}, \quad p_f = \bar{p}_f + U_{p_f}. \quad (2)$$

Donde \bar{p}_i , U_{p_i} y \bar{p}_f , U_{p_f} se corresponden con los valores medios y las incertidumbres expandidas para la cantidad de movimiento inicial y final respectivamente.

Idealmente se espera que $p_i = p_f$, pero al considerar las incertidumbres, solo se puede aspirar a la compatibilidad de las mediciones, compatibilidad que se satisface si se cumple que:

$$|\bar{p}_i - \bar{p}_f| \leq U. \quad (3)$$

Donde U es la incertidumbre propagada a la diferencia $p_i - p_f$ y se calcula como:

$$U = \sqrt{U_{p_i}^2 + U_{p_f}^2}. \quad (4)$$

Tabla 1. Resultados experimentales

$m_1 = 132.9 \text{ g}$		$m_2 = 243.7 \text{ g}$	
$p_{ik} \text{ (g}\cdot\text{cm/s)}$	$p_{fk} \text{ (g}\cdot\text{cm/s)}$	$p_{ik} \text{ (g}\cdot\text{cm/s)}$	$p_{fk} \text{ (g}\cdot\text{cm/s)}$
9601	9670	9743	9696
9829	9592	9545	9477
9675	9661	9746	9666
9659	9593	9820	9910
9451	9577	9586	9590
9694	9580	9611	9545
9520	9479	9310	9400
9684	9526	9688	9483
9346	9378	9918	9746
9623	9538	9760	9700
9948	9887	9585	9517
9793	9775	9488	9282
9855	9746	9698	9579
9552	9178	9412	9844
9683	9476	9687	9332

Realizando los respectivos histogramas para los valores de p_{ik} y p_{fk} con intervalos de 100 unidades y tomando los valores correspondientes a la media de cada intervalo se obtienen los gráficos de la Fig. 1.

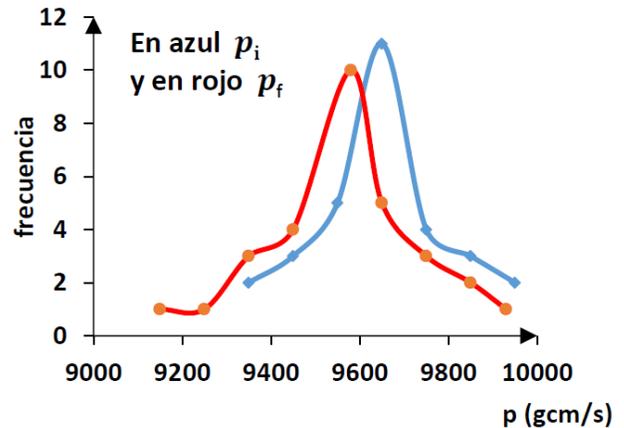


Figura 1. Funciones de distribución que se obtienen con los respectivos valores medios por cada intervalo de p_{ik} y p_{fk} .

En el gráfico anterior pueden apreciarse dos resultados fundamentales, uno de estos consiste en que las observaciones se distribuyen en una forma semejante a la función de distribución normal y además que ambas funciones de distribución se solapan razonablemente.

Para la incertidumbre típica evaluada tipo A y la propagada a la diferencia $p_i - p_f$, con nivel de significación de 95 % se obtiene:

$$\begin{aligned} \bar{p}_i &= 9650 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \pm 57 \frac{\text{cm}}{\text{s}}, & \bar{p}_f &= 9581 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \pm 63 \frac{\text{cm}}{\text{s}}, \\ |\bar{p}_i - \bar{p}_f| &= 69 \frac{\text{cm}}{\text{s}}, & U &= 85 \frac{\text{cm}}{\text{s}}. \end{aligned}$$

Estos resultados evidencian que las incertidumbres no superan el 1% de los valores medios correspondientes. Para una práctica de laboratorio docente es un muy buen resultado.

Se cumple el criterio de compatibilidad entre de p_i y p_f . Se concluye que se verifica experimentalmente la "Ley de conservación de la cantidad de movimiento lineal" en este choque.

Los autores consideran que un proceder semejante se puede aplicar en prácticas similares, por ejemplo, para comprobar experimentalmente las reglas de Kirchhoff de la corriente eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] NC 1066: 2015 "Guía para la expresión de incertidumbre de medición", Oficina Nacional de Normalización, La Habana, 2015.
- [2] O. Cartaya, "Introducción al Laboratorio de Física. Fundamentos de la Teoría de Errores", (Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1986).
- [3] H. Borroto, M. Becquer y O. Calzadilla, Lat. Am. J. Phys. Educ. **11**, 3, (2017).
- [4] J.J. Llovera, J. Ortega Breto, A. Moreno Yeras y J.B. Cruz Arencibia "Introducción al Laboratorio De Física Fundamentos Del Cálculo De Incertidumbres" (<ftp://ftp.quimica.cujae.edu.cu/Clases/F%C3%ADsica%20General/F%C3%ADsica%20General%20I/TODO%20SOBRE%20EL%20LABORATORIO/>, 2018).
- [5] A. Buffler, S. Allie, F. Lubben y B. Campbell, "A new Research-Based Curriculum for Teaching Measurement In the First Year Physics Laboratory", Proceedings of the International Physics Education Conference, 5-8 July 2004, Durban, South Africa ISBN 1-86888-359
- [6] A. Buffler y F. Lubben, B. Ibrahim, Int. J. Sci. Educ. **31**(9), 1137, (2009).
- [7] E. M. Smith y N.G. Holmes "Seeing the real world: Comparing learning from verification labs and traditional or enhanced lecture demonstrations" arXiv preprint arXiv:1712.03174 (2017).
- [8] A. M. van der Bles, S. van der Linden, A. L. J. Freeman, J. Mitchell, A. B. Galvao, L. Zaval, y D. J. Spiegelhalter, R. Soc. Open Sci. **6**, 181870, (2019) (royalsocietypublishing.org/journal/rsos).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) license.

