



PROPUESTA DIDÁCTICA PARA MODELAR ESTADÍSTICAMENTE ERRORES DE MEDICIÓN EN LAS CIENCIAS NATURALES, EN LOS GRADOS DÉCIMO Y ONCE

Gladys Sánchez

Universidad Nacional de Colombia

gmsanchezb@unal.edu.co

Este documento es una síntesis de una propuesta didáctica para modelar estadísticamente, errores de medición en las ciencias naturales. El origen de este trabajo fue motivado por cuatro cuestiones: la primera es la enseñanza del error como requisito para el currículo, los estándares curriculares establecen que un error es un punto en uno de los caminos hacia la verdad y, cada punto en ese camino, es un error de mayor o menor magnitud. Se vive en un mundo lleno de incertidumbres donde a nivel físico no existen verdades absolutas, por tanto, se vive con el error permanentemente, la segunda es la escasez de recursos didácticos para atender la enseñanza de error de medición en el aula teniendo en cuenta la revisión bibliográfica realizada, la tercera es el manejo interdisciplinar que se le puede dar al error de medición en el aula, y por último, es el uso de herramientas tecnológicas para el desarrollo de modelos o representaciones visuales acerca de éste tema en el aula, la importancia del error de medición en las ciencias y el tratamiento estadístico del error de medición en el aula, como instrumento para evaluar de forma cuantitativa la precisión y exactitud de los resultados obtenidos a partir de procesos experimentales.

PALABRAS CLAVE

Error de medición, precisión, exactitud, modelo estadístico.

INTRODUCCIÓN

El aspecto axiológico del trabajo se fundamenta en el error de medición, el cual en éste trabajo se define como la diferencia que existe entre el valor real y el obtenido a través de un proceso experimental de medida.

El aspecto ontológico se fundamenta en una propuesta didáctica que incursiona el tratamiento estadístico del error desde diferentes ciencias al aula. La pregunta que motiva este trabajo es ¿Cómo abordar en el aula el concepto de error en la medición durante la toma de datos en situaciones experimentales? Los estudiantes de educación media, dentro de su rutina académica y social, enfrentan problemas durante sus prácticas de laboratorio y experiencias en ciencias donde aparece el error de medición. Por tanto, se plantean dos actividades, en física y química donde se aborde la teoría del error para incorporarla a la conceptualización de las diferentes teorías, es decir, postular modelos estadísticos, que puedan dar significado a las aproximaciones y estimaciones en los procesos de medición para cuantificar la precisión y exactitud del método experimental.



En el aspecto epistemológico se presenta una propuesta didáctica que pretende brindar herramientas para el manejo del error de medición por parte de los docentes encargados de la educación estadística en media (grados 10^o y 11^o), la aplicación de la propuesta es un colegio distrital ubicado en la localidad de Rafael Uribe Uribe llamado Misael Pastrana Borrero que tiene como énfasis la ciencia y la tecnología.

En el aspecto metodológico se realiza una revisión bibliográfica con relación al 'error en procesos de medición' a nivel didáctico, epistemológico y pedagógico. La parte didáctica trata de los estudios realizados sobre la medida de las magnitudes, educación estadística y las estrategias de aula. La parte epistemológica hace una revisión a través del tiempo del desarrollo de la teoría de errores a partir de su aplicación en otras ciencias y el pedagógico, describe la transposición didáctica de la teoría de errores en el aula teniendo en cuenta los lineamientos establecidos por el Ministerio de Educación. Por último, se desarrolla la propuesta didáctica con su planteamiento y aplicación teniendo en cuenta el anterior marco teórico.

En el aspecto teleológico, se pretende con la propuesta favorecer a los estudiantes al considerar la interpretación y tratamiento del error para la comprensión de conceptos en ciencias y evaluación del nivel de precisión y exactitud de los métodos de medición experimentales, con el fin de mejorar la comprensión de los conceptos y teorías en ciencias. Además, se potencia el desarrollo de competencias matemáticas relacionadas con el pensamiento métrico y el pensamiento aleatorio, y en ciencias para ese nivel (MEN, 2006).

MARCO DE REFERENCIA

Marco didáctico

Medida de las magnitudes

A partir de la observación de las diferentes características o cualidades de los objetos podemos encontrar diferentes magnitudes que pueden ser discretas o continuas según su naturaleza. Según Belmonte y Chamorro (1994) el estudiante debe tener contacto con situaciones que les lleven al descubrimiento de magnitudes físicas, a partir de la comparación directa a través de los sentidos o con la ayuda de aparatos o instrumentos adecuados e indirecta a partir de procedimientos matemáticos y relaciones entre las magnitudes medidas.

Aprendizaje activo y desarrollo de capacidades metacognitivas

Para la realización de la propuesta se va a tener en cuenta el enfoque del aprendizaje activo complementado con la estrategia del desarrollo de las capacidades metacognitivas.

Según Campanario y Moya (1999) actualmente en educación, en la enseñanza de las ciencias naturales y exactas se debe potenciar el desarrollo de las capacidades metacognitivas tales como: observación, clasificación, comparación, medición, descripción, organización, predicción, formulación de hipótesis, interpretación de datos, elaboración de modelos y obtención de conclusiones. Esta estrategia fue retomada porque busca que el estudiante desarrolle procesos de razonamiento que potencien su nivel analítico y argumentativo.



Según Gunstone y Northeld (citados en Campanario y Moya, 1999) se debe desarrollar la metacognición que tiene como objetivo que los alumnos sean conscientes de sus propios procesos cognitivos empleando actividades que siguen el esquema: predecir, observar y explicar; lo que involucra en el aula una participación activa del estudiante en la construcción de su conocimiento incrementando su motivación. En primer lugar se les propone ciertos problemas o situaciones para que ellos predigan ciertas hipótesis, contrasten con la experimentación, y por último intenten explicar las observaciones realizadas haciendo uso de diferentes teorías para formalizar su conocimiento.

El aprendizaje activo es aquel aprendizaje basado en el educando, que solo puede adquirirse a través de la implicación, motivación, atención y trabajo constante del estudiante, debe participar en la tarea, necesariamente, para poder obtener los conocimientos o informaciones que se diseñan como objetivos de la asignatura (Schwartz y Pollishure, 1995). El papel del profesor es guiar a los alumnos en su proceso de búsqueda, orientar a cada alumno para el desarrollo del conocimiento, facilitar y posibilitar diferentes actividades con el propósito de que los estudiantes se involucren participando en éstas, para obtener ciertos aprendizajes, y por último, aclaran aquellos conocimientos que les causan grandes dificultades y dan mayor significado a la teoría.

Dentro del aprendizaje activo el estudiante, a través de la práctica y la experiencia puede adaptarse a las nuevas formas de enseñanza y el profesor necesita de una formación específica, debido a que ha de saber cómo, cuándo y con qué recursos puede poner en práctica unas u otras actividades dirigidas al desarrollo del aprendizaje activo del estudiante, además, es el responsable de la dinámica y el control de la clase. Los defensores del aprendizaje activo sugieren diseñar las situaciones de aprendizaje de manera que permitan a los estudiantes atravesar cuatro etapas establecidas por Schwartz y Pollishure (1995):

- Hacer. Consiste en realizar tareas que estimulen la actividad de los estudiantes (discusión de casos, análisis y resolución de problemas sociales, simulaciones, juegos y dinámicas experimentales).
- Revisar. En esta etapa los estudiantes se detienen para tomar conciencia de lo que ocurrió en el proceso, qué fue importante, cómo se sintieron, etc.
- Aprender. es cuando los estudiantes argumentan las nuevas ideas y perspectivas que la actividad permitió generar.
- Aplica. Trata de planear acciones futuras a la luz de los nuevos hallazgos o conocimientos. Se examina la posibilidad de transferir lo aprendido a otras situaciones.

Marco epistemológico

En los antecedentes epistemológicos tiene en cuenta el uso de los errores de medición a través de la historia para dar origen a diferentes teorías en las ciencias. Algunos de los personajes que aportaron a la ciencia y se relacionan con los errores de medición son:



Heissenberg (1927) con el principio de incertidumbre que nos habla sobre un tipo de error que se puede cometer al realizar una medición y que se tuvo en cuenta para el desarrollo de la teoría de la física cuántica, Gauss que crea la teoría del error a partir de sus estudios astronómicos.

Marco disciplinar

En el siguiente esquema conceptual del marco disciplinar se presenta de forma descriptiva la forma como se realiza la revisión sobre elementos conceptuales básicos de la teoría de la medida y de la estadística, y punto de intersección de estas teorías enfocadas hacia el error de medición como la evaluación de la precisión y exactitud de un método de medición a través de un modelo estadístico.

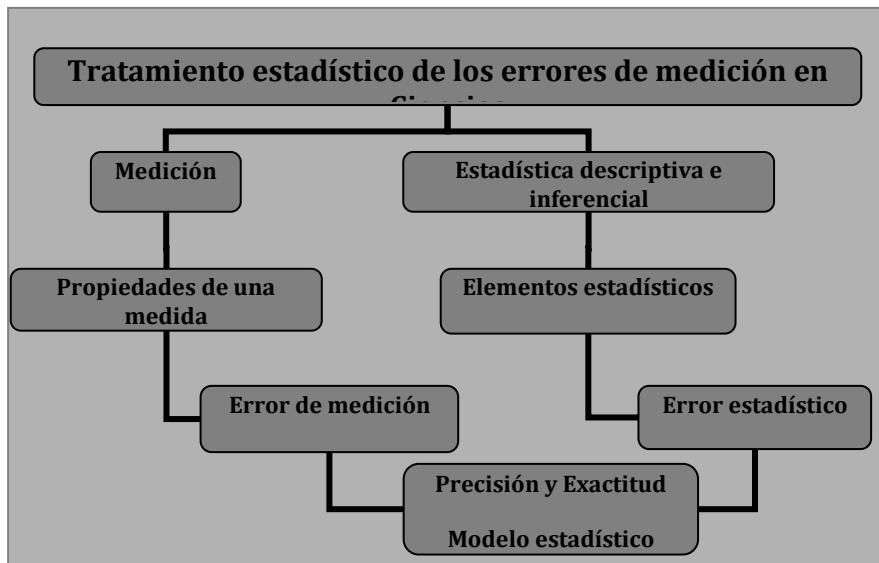


Ilustración 1.4 Esquema conceptual del marco disciplinar

Error de medición

El error de medición está presente en cada medición debido a los siguientes factores: la naturaleza de las mediciones físicas, la persona que efectúa la medición, los instrumentos que se usan en la medición y el sistema de medida. Ésta medición se ve afectada por pequeñas perturbaciones aleatorias impredecibles denominadas errores, las cuales se pueden reducir de magnitud pero es imposible anularlo por completo. Por esta razón, fue importante desarrollar una teoría de errores de medición que conste de métodos para obtener adecuadas aproximaciones de cantidades físicas a partir de valores medidos y de información acerca de la exactitud de las aproximaciones.

Gil y Rodríguez (2001) nos exponen una clasificación teniendo en cuenta su carácter, se explicitarán a continuación:

- Errores sistemáticos. Se originan por las imperfecciones de los métodos de medición, tales como: error de calibración del instrumento, condiciones



experimentales no apropiadas, técnicas imperfectas, fórmulas incorrectas, paralaje, etc. Este error en el sentido de una equivocación, no de una incerteza.

- Errores estadísticos. Son los que se producen al azar, son debidos a causas múltiples y fortuitas. Estos errores pueden cometerse con la misma probabilidad tanto por defecto o como por exceso, por tanto midiendo varias veces y promediando el resultado, es posible reducirlos considerablemente, son los que hace referencia la teoría estadística como errores de medición.

Tratamiento estadístico del error de medición

En la propuesta se tienen en cuenta los errores estadísticos, donde una magnitud se mide directamente n veces, lo cual genera en las medidas obtenidas una variabilidad y se evidencia el error con la misma probabilidad tanto por defecto como por exceso, por tanto un parámetro que nos permite promediar estos resultados y con ello reducir considerablemente el error, es la media \bar{x} . La media es la sumatoria de todas las observaciones o medidas x_i dividida entre la cantidad de datos (N). Esta medida de tendencia central hace parte de la estadística descriptiva que se usa para detallar características de una población.

Las medidas de dispersión, son valores estadísticos que nos indican cuantitativamente la variabilidad o dispersión de cada observación en un grupo. Según distintos autores, la medida de dispersión más utilizada es la desviación típica (s) que mide la intensidad con que los datos se desvían respecto a la media, se expresa como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la diferencia entre cada valor y la media, dividida dicha suma por el número de valores (N); su cuadrado recibe el nombre de varianza y viene dada por:

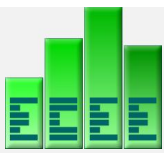
$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2}{N}$$

Una medida relativa que nos proporciona una estimación de la magnitud de la desviación respecto a la magnitud de la media es el coeficiente de variación que relaciona la desviación estándar y la media, expresando la desviación estándar como porcentaje de la media (Levin y Rubin, 2004).

$$\text{Coeficiente de variación porcentual} = \frac{s}{\bar{x}} (100)$$

La estadística inferencial nos permite sacar conclusiones respecto a una población, a partir de los datos descriptivos de una muestra que han sido anteriormente definidos y se denominan parámetros de una población. Para evaluar la precisión, la cual se refiere a cuando concuerdan dos o más mediciones de una misma cantidad, se utiliza el parámetro del coeficiente de variación, éste permite comparar la variación dentro de las medidas de una muestra con respecto de su valor promedio.

El coeficiente de variación, es generalmente un número adimensional menor que uno y mayor que cero. Se considera que para ser aceptado, como criterio debe tener un valor cercano a cero, por tanto la precisión del experimento satisface las expectativas en cuanto al método aplicado, es decir, los valores obtenidos experimentalmente con ese método son muy cercanos (Levin y Rubin, 2004).



Marco pedagógico

La propuesta didáctica tiene el enfoque pedagógico del aprendizaje activo y la estrategia metodológica es el desarrollo de las capacidades metacognitivas.

Se considera apropiada esta metodología para el desarrollo de la propuesta ya que da un papel protagónico al estudiante por medio de actividades experimentales que incrementan su motivación, participación, comprensión y dinamismo dentro del aula, además de desarrollar herramientas comunicativas, analíticas, argumentativas y críticas durante el proceso de aprendizaje.

Este trabajo propone una propuesta interdisciplinar que busca dar significado al error de medición, teniendo en cuenta la aplicación de algunos conceptos estadísticos para modelar la precisión y exactitud de los datos experimentales, y a partir de procesos de medición, establecer una interacción dinámica entre las ciencias físicas y exactas, como las matemáticas, desarrollando sus pensamientos. Los procesos de laboratorio y la resolución de problemas generan situaciones de utilidad, con aplicaciones prácticas donde cobran sentido las matemáticas (MEN, 2006).

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Diseño de las actividades experimentales de aula para grado decimo y once

Las situaciones experimentales que se tienen en cuenta para el desarrollo del trabajo son en ciencias, se ha elegido una en física sobre la caída libre de un cuerpo, en química es la determinación de la densidad del etanol y en geometría la determinación de una aproximación al número Pi. Una característica primordial de estas situaciones, es que hay un valor teórico para contrastar los datos experimentales como: la gravedad, la densidad del etanol y el número Pi, lo que nos permite establecer un nivel de exactitud por medio del modelo del error relativo porcentual.

A nivel metodológico se tiene en cuenta el aprendizaje activo y el desarrollo de las capacidades metacognitivas, ya que se busca durante las actividades que halla mayor participación del estudiante, poniendo en juego durante el primer momento los conocimientos previos a la actividad acerca del error de medición y la estimación de medidas, además puede predecir y fórmulas hipótesis acerca de la situación experimental planteada de forma individual y grupal, para luego contrastar éstas ideas con las obtenidas en la práctica experimental, y por último realizar un tratamiento estadístico por medio de la aplicación de conceptos como varianza, desviación estándar, coeficiente de variación y error relativo a través de Excel, para validar la precisión y exactitud de los datos obtenidos con el método de medición.

Se proponen tablas a completar con las medidas directas experimento, y los valores estadísticos obtenidos del coeficiente de variación y el coeficiente de error relativo.

Luego para analizar los resultados de la actividad didáctica se plantean preguntas dirigidas o sugeridas al estudiante sobre los datos registrados en la tabla. Tales como: ¿Qué factores en el taller experimental influyeron en los resultados sobre precisión y exactitud? ¿Cuál es el uso que le podemos dar al error relativo en diferentes situaciones? Se socializan las respuestas por medio de una plenaria y se exponen las dudas originadas con la situación.



Por último, cada grupo elabora un informe con una descripción de la parte experimental, los resultados de su tratamiento estadístico y las conclusiones acerca del error de medición.

Conclusiones de la aplicación de las actividades experimentales

Para de los datos obtenidos en la propuesta didáctica aplicada, se establecieron unas categorías de análisis en las que se podía evidenciar la construcción del conocimiento entorno al error dentro de las actividades experimentales propuestas. Las categorías y las subcategorías fueron retomadas de un artículo de investigación llamado Modelos matemáticos a través de proyectos elaborado por Aravena M, Camaño C. y Giménez J. (2008), aunque cabe recalcar que las categorías se adecuaron de acuerdo con el objetivo de nuestra investigación.

Aspectos cognitivos

Elementos cognitivos conceptuales

Estos elementos se refieren a las concepciones sobre el error de medición que tienen los estudiantes y algunos conceptos estadísticos para cuantificar la precisión y exactitud de los datos experimentales. Durante el desarrollo de las actividades se evidencia el reconocimiento e interpretación de la clasificación de los errores medición dentro de situaciones científicas, a partir de la observación, se plantea la siguiente clasificación jerárquica de menor a mayor grado de complejidad en los estudiantes:

- Error de apreciación
- Error de exactitud
- Error de interacción
- Falta de definición en el objeto sujeto de medición

Elementos cognitivos procedimentales

Dentro de los procedimientos cognitivos se incorporan:

- La práctica experimental
- La recolección y organización de la información o datos experimentales.
- Los cálculos realizados para determinar medidas indirectas.
- Las representaciones y cálculos estadísticos realizados en el software excel con los resultados.

Elementos autorreguladores y aplicación

Se analizan los resultados con los que dotan a los conceptos y su utilidad dentro de un contexto en ciencias. Se observó que los estudiantes reconocen la estadística como una herramienta indispensable al momento de cuantificar el error de medición (precisión de los datos), ya que el error produce una variación en las medidas observadas y esta se representa por medio de la media que se utiliza como herramienta para encontrar una medida promedio, las medidas de dispersión como la desviación estándar y la varianza que sirven para el cálculo del coeficiente de variación.

Esto se evidenció en las conclusiones de los trabajos donde los estudiantes escribieron: “Durante este trabajo aprendimos a manejar algunas funciones



estadísticas mediante el programa Excel y también comprendimos como hallar valores estadísticos nos permiten evaluar la precisión y exactitud de los datos”.

Comunicación matemática

Las intervenciones fueron argumentando las respuestas a las preguntas sobre el error, donde de tenía en cuenta la variedad de medidas obtenidas y los factores que intervienen durante el proceso de medición.

Aspectos metacognitivos

Creatividad

En las diferentes estimaciones que realizan los estudiantes se evidencia la creatividad, además, en sus socializaciones donde se constata la forma cómo se enfrentan a los problemas, el aporte de las nuevas ideas al resolver las preguntas planteadas sobre precisión y exactitud.



Pensamiento estratégico

Se evidencia en la reflexión de los estudiantes sobre los procedimientos y factores que intervinieron para la obtención de diferentes medidas en las repeticiones del experimento al ver el nivel de exactitud y precisión calculados por medio del tratamiento estadístico del error, y clasifican sus errores observados entre las categorías planteadas. El establecimiento de comparaciones entre las medidas estimadas y medidas, las relaciones de proporcionalidad entre las medidas que intervienen en la práctica, las comparaciones entre las medidas obtenidas y el valor real para evaluar la exactitud del método de medición y las regularidades que hay en las tres situaciones planteadas.



Errores de medición	ACTIVIDAD FISICA	ACTIVIDAD QUIMICA	ACTIVIDAD GEOMETRIA
Argumentos desde la experiencia sobre los errores	El tiempo varia porque no se deja caer el objeto al mismo instante en que se inicia el cronómetro.	Las masas varían en cada repetición por que hubo alguna falla al graduar la balanza.	La longitud de la circunferencia vario debido a una equivocación al sobreponer la cinta de papel alrededor del objeto redondo.

CONCLUSIONES

La propuesta permite desde el aspecto curricular, reconocer el error como parte permanente de las medidas físicas, propiciando en ciencias la convivencia con el error y el manejo de su tratamiento para disminuir su valor a partir de métodos de medición más recientes.

La propuesta aplicada brinda a los estudiantes herramientas conceptuales y procedimentales al momento de medir una magnitud, lo que permite que el error pierda ese significado de equivocación para reconocerlo como algo natural que no se puede eliminar sino disminuir en las magnitudes físicas.

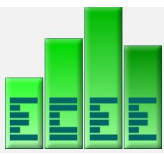
En el desarrollo de las actividades los estudiantes reconocen el error de medición desde la naturaleza de las magnitudes físicas y su cuantificación como una herramienta estadística que establece un criterio de validez de un método de medición en diferentes ciencias

En el aspecto didáctico se plantea actividades donde se pueden relacionar campos de conocimiento, tales como: las ciencias, la estadística y la tecnología, incentivando el uso de las Tics durante el desarrollo de conocimientos y habilidades en el aula acerca del error.

A nivel didáctico se establecen de modo jerárquico las clases de errores de medición que se hacen evidentes en una práctica, teniendo en cuenta las fortalezas y dificultades presentadas por los estudiantes al momento de identificarlas en el proceso experimental.

REFERENCIAS

- Aravena M, Caamaño C. y Giménez J. (2008). Modelos matemáticos a través de proyectos. *Revista Latinoamericana en Investigación en Matemática Educativa – RELIME*, 11 (1) 49-92.
- Belmonte J. y Chamorro, C. (1994). *El problema de la medida: didáctica de las magnitudes lineales*. Madrid: Síntesis.
- Bressan, A. y Yaksich, F. (2001). La enseñanza de la medida en la educación general básica. Obra colectiva de los docentes de la Red de escuelas de Campana.
- Campanario, J. y Moya A. (1999). ¿Cómo aprender ciencias? *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 2, 179-192.



- Levin, R. y Rubin, D. (2004) *Estadística para administración y economía*. México: Pearson Education - Prentice Hall.
- MEN (2006). *Estándares básicos de competencias en matemáticas*. Bogotá: MEN.
- Schwartz, S y Pollishure, M. (1995). *Aprendizaje activo: una organización de la clase en el alumnado*. Narcea.