

## Formulación plan experimental

*Leer Secciones 1.2-1.3 de Notas de Clase y el artículo de Coleman and Montgomery (1993) para precisar mejor los siguientes elementos a desarrollar, que han sido tomados de esa publicación como guía para la formulación del plan experimental a presentar como primer informe.*

1. **Reconocimiento y planteamiento del problema:** Contempla lo siguiente:
  - a. **Formulación de los objetivos del experimento:** Deben ser escritos cumpliendo las siguientes características:
    - i. Insegados o imparciales: Para ello se debe partir del conocimiento del proceso, del producto, etc, buscar la participación o consejo de personas conocedoras del problema y que aporten diversas perspectivas. Permitir que los datos hablen por sí mismos.
    - ii. Específicos y medibles: Los objetivos deben ser detallados y declarados de manera que pueda establecerse con claridad si se han cumplido.
    - iii. Tener consecuencias prácticas: debe haber algo que se haga de manera diferente como resultado de los resultados del experimento.

Tenga en cuenta que los objetivos del experimento se pueden lograr si la planificación previa al diseño es minuciosa, si se selecciona un diseño apropiado, si el experimento se realiza con éxito, si los datos se analizan correctamente y si los resultados se informan de manera efectiva.

- b. **Descripción del proceso y presentación de antecedentes relevantes:** Debe realizarse una descripción del proceso en el que se enmarcará el experimento y presentar los aspectos teóricos y prácticos relevantes sobre las variables de respuesta y los factores que soportan los objetivos; también se debe procurar incluir información de leyes físicas/químicas, o relaciones teóricas, opiniones o conocimiento de expertos, información de experimentos previos, datos observacionales rutinariamente recolectados, entre otros. Los propósitos de proporcionar estos antecedentes son los siguientes:
    - i. Establecer un contexto para el experimento, para comprender de forma clara qué conocimiento puede ser ganado respondiendo a la pregunta ¿dónde encaja este experimento en el estudio del proceso o sistema en el que está inmerso el problema?
    - ii. Motivar la discusión sobre el conocimiento del dominio relevante, ya que tal discusión puede cambiar el consenso del grupo, de ahí el experimento.
    - iii. Descubrir posibles regiones experimentales de particular interés y aquellas que deberían evitarse.

De acuerdo a Coleman y Montgomery (1993), con estos antecedentes reducimos los riesgos del empirismo ingenuo y la duplicación de esfuerzos.

2. **Variable(s) respuesta y cómo puede ser medida:** Recomendaciones para su elección y definición son las siguientes:
  - a. Preferiblemente seleccionar una variable continua, que refleje el continuo de una propiedad física, tal como peso, temperatura, longitud, concentración, etc. Las variables dicotómicas u ordinales contienen o proporcionan menos información.
  - b. Debe captar, en la medida de lo posible, una cantidad o calidad de interés para la unidad experimental.
  - c. Debe estar en unidades apropiadas. Las unidades pueden ser absolutas como libras, grados centígrados, metros, etc., o relativas, como por ejemplo, porcentaje de concentración por peso o por volumen o

desviación proporcional respecto a un estándar. La elección de la unidad de medición puede ser determinada por algún modelo empírico o de primer principio (modelos o leyes físicas, por ejemplo) o puede ser determinado por limitaciones prácticas.

- d. Debe estar asociada con un objetivo o condición deseable (lo que motiva el experimento): Comparaciones contra algún estándar o valor objetivo, o bien, diferencias medias absolutas y desviaciones estándar de las diferencias, son medidas de desempeño para varias condiciones experimentales.
- e. Preferiblemente, que pueda ser obtenida mediante métodos no destructivos y no dañinos, de modo que puedan realizarse medidas repetidas para cuantificar el error de medición.
- f. No debe estar cerca de un límite natural. De lo contrario, la variable no discriminará bien.
- g. Preferiblemente, tenga varianza constante sobre el rango de experimentación.

Además, para cada variable respuesta se deben establecer las siguientes características:

- a. Nivel actual o normal de la variable en el cual se corre el proceso
- b. Distribución o rango de la variable en la operación normal del proceso
- c. Precisión o rango en el cual puede ser medida y cómo
- d. Relación de la variable con el objetivo experimental

Esta información debe proporcionarse a través de una tabla como la Tabla 2 del artículo de Coleman and Montgomery (1993).

3. **Factores a considerar en el experimento:** Los factores que pueden tener efectos sobre las variables respuestas pueden ser divididos en diferentes categorías de acuerdo a tres características claves: Magnitud de la influencia sobre la respuesta, grado de controlabilidad y medibilidad (precisión y exactitud). Para poder llegar a la identificación de los factores que a continuación deben especificar, es necesario realizar un análisis de causa-efecto, lo cual requiere construir un diagrama de Ishikawa o espina de pescado". Es un esfuerzo de grupo que se realiza tras una investigación sobre el problema, se puede recurrir a algún "experto", y requiere una sesión de "lluvia de ideas". Para el diagrama de causa-efecto ver por ejemplo,

<https://asq.org/quality-resources/fishbone>

<https://asq.org/-/media/public/sixsigma/tools-exchange/fishbone-cause-and-effect-diagram.xls?la=en>

- a. **Variables o Factores controlables.** Estas variables o factores son medibles, controlables y se cree que son muy influyentes sobre la respuesta. Pueden ser de tipo atributos o continuas. Además, pueden ser definidas de forma "estrecha" como, por ejemplo, porcentaje, peso, longitud, o bien de forma "amplia", por ejemplo, cumplir un conjunto de propiedades. Estas variables de control deben ser explícitamente definidas.
- b. **Factores mantenidos constantes:** Son controlables y pudieran ser o no influyentes y/o medibles y no es de interés estudiar sus efectos en el experimento.
- c. **Factores de ruido:** Son factores que pueden ser incontrolables, o bien, se les permite variar. Pudieran ser o no influyentes y/o medibles.

Para las variables de control es necesario especificar:

- a. Unidades de medida
- b. Rango en que se mueve y nivel normal de uso

- c. Precisión de su medición.
- d. Ajustes propuestos (niveles)
- e. Efectos predichos o conocidos sobre las variables respuesta

Para cada variable de control debería tratar de identificarse niveles bajo/alto que puedan ser seleccionados para causar un efecto (efecto principal) predicho sobre la respuesta, igual a una desviación estándar con respecto a su variación en el uso ordinario (si existe tal uso). Estos posibles efectos sobre la respuesta pueden ser identificados a través de teoría, experimentos previos, conocimiento de expertos.

Una especificación sistemática de lo anterior debe proporcionarse como ilustra la Tabla 3 del artículo de Coleman and Montgomery (1993).

Para los factores a mantener constantes: Como previamente se indicó, deben ser de tipo controlable. El valor en el cual se van a mantener fijos, se supone es el de uso “ordinario o nominal”. Para estos factores deben diligenciarse una tabla como ilustra la Tabla 4 del artículo de Coleman and Montgomery (1993), indicando lo siguiente:

- a. Nombre del factor
- b. Nivel experimental deseado y rango permisible
- c. Precisión de la medición
- d. Cómo controlar en el experimento
- e. Efectos anticipados

Para los factores de ruido: No son controlables en principio, y tampoco son de interés principal en el experimento, sin embargo, hay que tratar de evitar que interfieran con el estudio de los efectos de los tratamientos de interés, a través del bloqueo o la estrategia de aleatorización. Si el bloqueo no es posible debido a que no pueden seleccionarse los niveles y no hay posible control, entonces este factor debe ser ingresado como una covariable (si es posible la medición u observación de su valor en cada unidad y/o corrida experimental). Estos factores determinarán la estructura de diseño del experimento. Deberán diligenciar una tabla como la Tabla 5 del artículo de Coleman and Montgomery (1993), especificando lo siguiente:

- a. Nombre del factor
- b. Precisión en su medición
- c. Estrategia para su control (aleatorización, bloqueo, etc)
- d. Efectos anticipados

4. **Unidades experimentales y regla de asignación de las unidades experimentales a los tratamientos:** Debe describir con claridad las unidades experimentales sobre las cuales se aplicarán los tratamientos y la estructura de diseño a emplear y justificarla de acuerdo al control sobre factores de ruido identificados.
5. **Procedimiento experimental, mediciones y dificultades anticipadas:** Describir el procedimiento de ejecución a seguir en cada corrida experimental, las mediciones a realizar y método de medición, formularios o formatos para registro de datos, materiales y equipos a usar, duración, número de corridas, regiones de experimentación “ilegales” o irrelevantes, restricciones o limitaciones en la aleatorización o en la realización de las mediciones.
6. **Experimento piloto:** Describa su propósito, cuántas corridas experimentales y **resultados**. Recuerde que el experimento piloto no es el experimento definitivo, es una estrategia para sintonizar y aclarar la estructura de

tratamientos, de diseño y el procedimiento experimental y es una fuente para estimar la varianza del error necesaria para el cálculo de tamaño de muestra.

7. **Especificación del modelo estadístico, análisis o pruebas a realizar y tamaños de muestra:** De acuerdo a las estructuras de tratamientos, de diseño y estrategia de aleatorización, definir el modelo estadístico apropiado y de acuerdo a los objetivos planteados formular los test de hipótesis, comparaciones, intervalos de confianza, etc. necesarios. Determinar de tamaños de muestra.

## Referencias

Coleman, D. E., and Montgomery, D. C. (1993). *A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment*, *Technometrics*, vol. 35(1), pp.1--12