

Introducción a los diseños de experimentos

Mtro. Arturo Zuñiga Blanco

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

September 5, 2025

Objetivos

- ▶ Conocer el papel fundamental que juega el diseño de experimentos en el mejoramiento de procesos y en la investigación.
- ▶ Identificar los principios básicos y los conceptos adecuados en el diseño de experimentos.
- ▶ Describir las etapas importantes en la investigación experimental.

El diseño de experimentos en la actualidad

En la actualidad, es frecuente hacer experimentos o pruebas con la intención de resolver algún problema o comprobar una idea (conjetura, hipótesis); por ejemplo si se desea hacer unos cambios en materiales o condiciones de un procesos, probar varias temperaturas en una máquina para encontrar el mejor resultado o crear algún químico nuevo con la intención de lograr mejoras o eliminar un problema. Es común que las pruebas o experimentos se realicen sobre el proceso con base en el ensayo y error, apelando a la experiencia y a la intuición, en lugar de seguir un plan experimental adecuado que garantice una buena respuesta a la interrogantes.

Investigación científica y experimentación

Diseño Experimental: Es el proceso utilizado para planear un experimento, de forma que permita recabar datos adecuados que puedan analizarse con métodos estadísticos, con la finalidad de obtener conclusiones válidas y objetivas que permita tomar decisiones. Es decir, se logre eficiencia estadística.

Propósito de un Diseño Experimental: El propósito de un diseño experimental es ofrecer la máxima cantidad de información al mínimo costo. Es decir, al planear un experimento se debe esforzar por lograr eficiencia estadística y economizar recurso.

Objetivos de un Experimento: En un diseño de experimento, se expresa los objetivos claramente como preguntas a ser respondidas, hipótesis a ser probadas, y efectos a ser estimados. Es aconsejable clasificar los objetivos de mayor a menor, desde que ciertos diseños experimentales dan mayor precisión para algunas comparaciones de tratamientos que para otras.

Investigación científica y experimentación

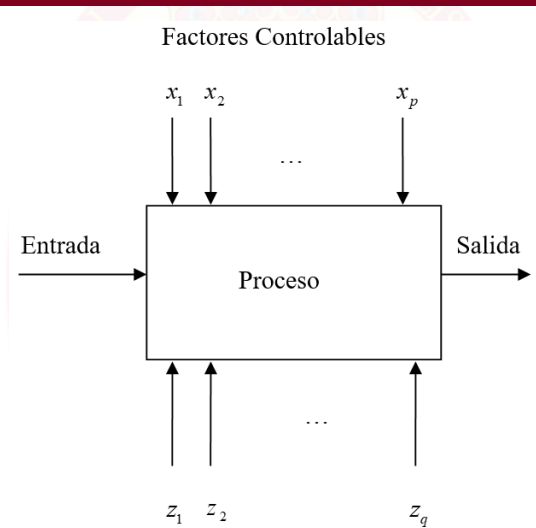
Precisión, *sensitividad* y cantidad de información se mide con la recíproca de la varianza de la media. Si I representa la información, entonces

$$I = \frac{1}{\sigma_Y^2} = \frac{n}{\sigma^2}.$$

Cuando σ^2 se incrementa, la cantidad de información decrece; también, cuando n se incrementa la cantidad de información se incrementa. Una comparación de dos medias muestrales se convierte en más sensitivo, esto es puede detectar una diferencia más pequeña entre medias poblacionales, cuando los tamaños de muestras se incrementan.

Experimento: Es el uso de un conjunto reglas que permite obtener una muestra de una población. En general los experimentos se usan para estudiar el desempeño de procesos y sistema. El proceso puede por lo general visualizarse como una combinación de máquinas, métodos, personas u otros recursos que transforman cierta entrada (con frecuencia un material) en una salida que tiene una o más respuestas observables. Algunas variables en el proceso x_1, x_2, \dots, x_p son controlables, mientras que otras z_1, z_2, \dots, z_q son no controlables.

Experimento



Factores no controlables

Unidad Experimental: Es la unidad material a la cual se le aplica un tratamiento. Ejemplo: Un animal, una parcela, 10 pollos, etc.

Tratamiento: Es un conjunto particular de condiciones experimentales, que debe imponerse a una unidad experimental y cuyo efecto se mide y se compara con otro tratamiento. Ejemplo: Una variedad de un cultivar, 10 Kg. De un fertilizante, una dieta particular, etc.

Factor (a estudiar): (A, B, C, etc) Es una variable independiente, del cual cuyo efecto se desea investigar. Por ejemplo: A: Dieta, B: Razas, C: Dosis de fertilizantes, etc

Niveles de un factor: (a, b, c, etc): A los valores o categorías de un factor se le conoce con el nombre de niveles. Cuando se tiene dos o más factores en estudio, la combinación de los niveles de estos factores produce un tratamiento (o combinación de tratamiento).

Ejemplo: Se desea estudiar los efectos que produce dos factores A y B en un cultivar:

A: Dosis de potasio: $a_1 = 10$ Kg./parcela, $a_2 = 15$ Kg./parcela

B: Dosis de fósforo: $b_1 = 5$ Kg./parcela, $b_2 = 10$ Kg./parcela

Entonces la combinación de los niveles de estos factores produce la siguiente combinación de tratamientos:

A esta manera de formar las combinaciones de tratamiento se le llama arreglo factorial.

Variable Respuesta: son las variables sobre las cuales se recaba información de las unidades experimentales a los cuales se aplicaron los tratamientos. Estas variables deben ser seleccionadas de manera que proporcionen información útil sobre el proceso que se está estudiando

Error Experimental: Describe el fracaso de llegar a resultados idénticos con dos unidades experimentales tratadas con el mismo tratamiento.

Es la distribución de los tratamientos (niveles de un factor o combinación de los niveles de varios factores) a las unidades experimentales. Así, también involucra la elección del tamaño muestral y la disposición de las unidades experimentales. El uso del diseño experimental adecuado permite minimizar el error experimental.

Tipos de Diseños Experimentales

- a) Diseños donde no existe restricción a la aleatorización: Diseño Completamente al Azar (D.C.A.)
- b) Diseños donde existe una restricción a la aleatorización: Diseño de Bloques Completos al Azar (D.B.C.A.)
- c) Diseños donde existe más de una restricción a la aleatorización: Diseño Cuadrado Latino (D.C.L.) y Diseño Greco Latino (D.G.L.)

Diseño experimental II

Diseño Completamente al Azar

A	D	C	B
C	B	D	A
B	A	D	D
A	C	B	C

Diseño de Bloques Completos al Azar

Bloque I	A	D	C	B
Bloque II	C	B	D	A
Bloque III	B	A	C	D
Bloque IV	A	D	B	C

Diseño Cuadrado Latino

	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV
Bloque I	A	B	C	D
Bloque II	B	A	D	C
Bloque III	C	D	A	B
Bloque IV	D	C	B	A

- Es la representación matemática de las relaciones entre los componentes considerados en un diseño experimental. Presenta la siguiente estructura:

$$V.Resp = Media + Efec.Trat. + Efec.Bloques + Error$$

- **Tipos de modelos:**
 1. Modelo de efectos fijos
 2. Modelo de efectos aleatorios
 3. Modelo de efectos mixtos

► Supuestos

1. Aditividad
2. Linealidad
3. Normalidad de errores
4. Independencia
5. Homocedasticidad (homogeneidad de varianzas)

Principios Básicos del Diseño Experimental

Hay tres principios básicos:

- a) Repetición
- b) Aleatorización
- c) Control del Error (o control local)

Repetición

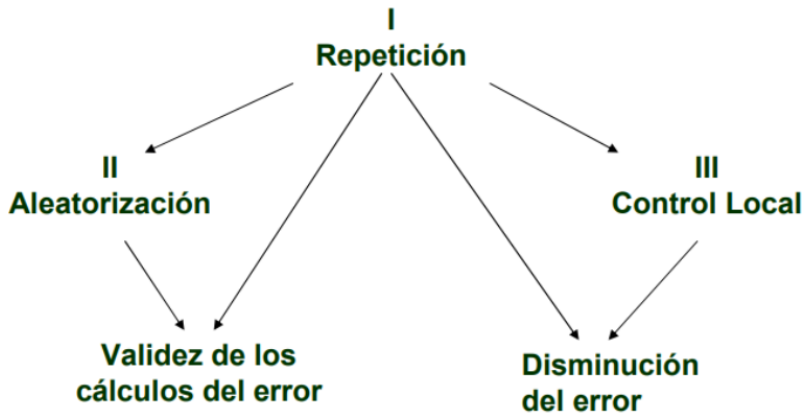
Cuando un tratamiento aparece más de una vez en un experimento se dice está repetido. Las funciones de la repetición son:

- Permitir la estimación del error experimental - Mejorar la precisión de un experimento mediante la reducción de la desviación estándar de la media de tratamiento.
- Aumentar el alcance de la inferencia del experimento mediante el uso apropiado de unidades experimentales más variables; Por ejemplo: formando bloques de unidades experimentales homogéneas, experimento repetidos en espacio y tiempo, Experimento factoriales, etc
- Ejercer control sobre la variancia del error: Formando Bloques de unidades experimentales homogéneas.

Aleatorización

La función de la aleatorización consiste en asegurar que se obtenga estimados válidos o insesgado del error experimental, de la media de tratamiento y de la diferencia de medias de tratamiento. La aleatoriedad asegura de alguna manera que cada tratamiento tenga igual oportunidad de ser asignado a una unidad experimental, sea favorable o no. La aleatorización hace válida la prueba de hipótesis sobre la media de tratamiento y la comparación de media.

- 1.- El diseño del experimento: El uso adecuado de un diseño experimental contribuye a controlar el error. Por ejemplo: formando bloques de unidades experimentales homogéneas.
- 2.- El uso de observaciones concomitantes (covariables): Mediante el uso de observaciones complementarias y una técnica llamada Análisis de Covariancia se puede aumentar la precisión.
- 3.- Tamaño y forma de las unidades experimentales. Como regla general unidades experimentales grande presenta menos variación que las unidades experimentales pequeñas.



Pautas Generales para diseñar un experimento

Para aplicar el enfoque estadístico en el diseño y análisis de un experimento, es necesario que todos los que participan en el mismo tengan desde el principio una idea clara de que es exactamente lo que va estudiarse, como va a colectarse los datos y al menos una comprensión cualitativa de la forma en que van analizarse estos datos. A continuación se muestra un esquema general a seguirse:

1.- **Identificación del problema:**

- Solicitar aportaciones de todas las áreas involucradas para definir claramente los objetivos del experimento (enfoque de equipo)
- Lista de los problemas o preguntas abordarse en el experimento o en una serie de experimentos (enfoque secuencial)

2.- Elección de factores, los niveles y los rangos

- Factores potenciales del diseño: Factores que pueden influir en el desempeño de un proceso. Factores que el experimentador desee hacer variar en el experimento.

Estos factores pueden clasificarse como

a) Factores del Diseño: factores que se selecciona para estudiarlos

b) Factores que se mantiene constante: Factores que influyen sobre las variables respuesta pero que no son de interés para los fines de la investigación y el experimentador los mantiene fijo

c) Factores que pueden variar: Las unidades experimentales o material experimental no son homogéneos. Se confía que la aleatorización pueda compensar estos efectos. Los efectos de estos factores son relativamente pequeños

- Factores perturbadores: Estos factores pueden tener un efectos considerables que debe tenerse en consideración. Y se clasifican en

a) Factores controlables: Bloques, covariables

b) Factores no controlables o de ruido.

3.- Selección de la variable de respuesta: Se debe estar seguro que la variable o variables respuestas proporciona información útil sobre el proceso. Se debe tener en consideración la precisión del instrumento de medición. Si el instrumento de medición es impreciso puede realizarse varias mediciones de una misma unidad y tomar el promedio como observación de la variable respuesta.

4.- Elección del Diseño del experimento: Para elegir el Diseño se debe tener en cuenta:

- a) tamaño de muestra o número de réplicas
- b) la selección de un orden de corridas adecuado para los ensayos experimentales
- c) Si es necesario formar bloque u otras restricciones en la aleatorización.

5.- Realización del experimento: Es importante monitorear el experimento de acuerdo a lo planeado. Muchas veces es necesario realizar corridas piloto o de prueba con la finalidad de realizar consistencia del material experimental, comprobar el sistema de medición, una idea aproximada del error experimental, y la oportunidad de poner en práctica la técnica experimental global.

6.- Análisis Estadístico de los datos: Uso de paquetes estadístico y chequeo de supuestos.

7.- Conclusiones y Recomendaciones: Una vez que se han analizado los datos, el experimentador debe obtener conclusiones prácticas acerca de los resultados y recomendar un curso de acción. Los métodos gráficos suelen ser útiles en esta etapa, en particular para presentar resultados. También deberán realizarse corridas de seguimiento o prueba de confirmación para validar conclusiones.

Experimentos comparativos simples

Ejemplo

Se utilizan dos máquinas para llenar botellas de plástico. Puede suponerse que el proceso de llenado sigue una distribución normal con varianzas homogéneas. El departamento de ingeniería de calidad sospecha que ambas máquinas llenan el mismo volumen neto (lo cual es deseable). Se realiza un experimento tomando una muestra aleatoria de la producción de cada máquina:

M1	16.03	16.04	16.05	16.05	16.02	16.01	15.96	15.98	16.02	15.99
M2	16.02	15.97	15.96	16.01	15.99	16.03	16.04	16.02	16.01	16.00

Identifique los conceptos básicos estudiados y presente un análisis comparativo en R que le permita afirmar o descartar las sospechas del departamento de ingeniería de calidad.

Ejemplo I

Ejemplo aplicado

Un ingeniero zootecnista está interesado en evaluar la ganancia de peso (en g.) de cuyes machos mejorados luego de aplicar cuatro dietas alimenticias (T1: Dieta control, T2: Dieta con 1% de aceite de pescado, T3: Dieta con 4% de semilla de sachá inchi, T4: Dieta con 1% de aceite de pescado y 4% de semilla de sachá inchi). Los 48 cuyes usados en el experimento tuvieron una edad y peso promedio de 42 días y 615 g, respectivamente. Para realizar dicho experimento, el ingeniero construyó 12 pozas idénticas de material noble revestidas con cemento, donde en cada una de ellas se distribuyeron al azar grupos homogéneos de 4 cuyes y se les aplicó una de las dietas en estudio.

Continuación del ejemplo

Según el caso anterior:

- a) La variable respuesta es: _____
- b) La unidad experimental es: _____
- c) El diseño experimental, según el número de repeticiones, es considerado de tipo:

- d) Complete el siguiente cuadro con un croquis experimental para el caso:

- e) Si los cuyes utilizados en el experimento hubiesen sido de las siguientes edades promedio: 12 días (E1), 24 (E2) y 42 días (E3). Bajo el mismo interés en estudio, entonces el factor de bloqueo sería: _____

Ejemplo 2

En un experimento agrícola se estudió el efecto de 3 variedades de mandarina (V1, V2 y V3) sobre la producción obtenida por parcela (en T/Ha.). En la siembra intervinieron dos bloques: el tipo de suelo (arenoso, arcilloso y franco arenoso) y la pendiente de terreno (alta, media y baja).

Identifique:

- a) Tipo de diseño experimental: _____.
- b) El número de unidades experimentales es: _____.
- c) Factor(es) en estudio: _____.

Según la información del caso, complete el siguiente cuadro con un croquis experimental:

Suelo/Pendiente	alta	media	baja
arenoso			
arcilloso			
franco arenoso			

Ejemplo 3

Cuatro métodos de crecimiento de trigo son comparados en cinco extensiones agrícolas. Cuatro parcelas son usadas en cada extensión agrícola. La aleatorización de los métodos a las parcelas se realizó dentro de cada extensión. Se registraron cinco medidas adicionales a la de estudio que fue la producción de trigo.

Según el caso anterior:

a) El diseño experimental aplicado es:

_____.

b) El factor en estudio es:

_____.

c) La unidad experimental es:

_____.






d) La variable respuesta es:

_____.

e) El tipo de control local considerado es:

_____.

Bibliografía I

-  R.G.D. Steel & J.H. Torrie (1985). *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. McGraw Hill, ed. Bogotá, Colombia.
-  Montgomery, D. C. (2005). *Diseño y análisis de experimentos* (2nd Ed.). México: Limusa Wiley.
-  Kuehl, R. O. (2001). *Diseño de experimentos: principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones* (2nd Ed.). International Thomson Editores, S.A. de C.V., México, DF.
-  Ramsey, F. L., & Schafer, D. W. (2002). *The Statistical Sleuth: A Course in Methods of Data Analysis*. Australia: Duxbury/Thomson Learning.
-  Soto, I., & Zuñiga, A., & etal (2021). *Ciencia de datos con R: Métodos estadísticos para la investigación experimental*. Lima: Perú/Universidad Nacional Agraria La Molina.