

# Diseño de Experimentos - 3007340

## DOE - Introducción: Conceptos y Definiciones Básicas

Nelfi González Alvarez

Profesora Asociada Escuela de Estadística

e-mail: [ngonzale@unal.edu.co](mailto:ngonzale@unal.edu.co)

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Escuela de Estadística  
Semestre 02 de 2021

# Contenido I

- 1 Qué es diseño de experimentos
- 2 Definiciones básicas en DOE
- 3 Ciclo Deming de la experimentación (ciclo PHVI)
- 4 Principios del DOE
- 5 Estructuras componentes de los modelos en DOE
- 6 Modelos ANOVA
- 7 Modelos ANOVA vs. modelos de regresión lineal

# Contenido

- 1 Qué es diseño de experimentos
- 2 Definiciones básicas en DOE
- 3 Ciclo Deming de la experimentación (ciclo PHVI)
- 4 Principios del DOE
- 5 Estructuras componentes de los modelos en DOE
- 6 Modelos ANOVA
- 7 Modelos ANOVA vs. modelos de regresión lineal

## Qué es diseño de experimentos

### *El diseño de experimentos o DOE, contempla:*

- **Planeación de pruebas experimentales**, de forma que los datos generados puedan analizarse estadísticamente para obtener conclusiones válidas y objetivas sobre un proceso.
- **Aplicación de técnicas estadísticas para manipular un proceso** con el fin de obtener la mayor información posible.
- **Aplicaciones de pruebas** y el **análisis estadístico** de los datos recolectados para extraer conclusiones y tomar decisiones sobre un proceso.

### *Áreas de aplicación:*

- En la producción de bienes y servicios
- En la agricultura
- En la investigación científica en general

*Con el objetivo de ganar conocimiento, mejorar un proceso, determinar mejores tratamientos, entre otros. Ver Sección 1.1, Capítulo 1 Notas de Clase.*

# Contenido

- 1 Qué es diseño de experimentos
- 2 Definiciones básicas en DOE**
- 3 Ciclo Deming de la experimentación (ciclo PHVI)
- 4 Principios del DOE
- 5 Estructuras componentes de los modelos en DOE
- 6 Modelos ANOVA
- 7 Modelos ANOVA vs. modelos de regresión lineal

## Definiciones básicas en DOE

### Definición 2.1 (Experimento)

*Cambio deliberado en las condiciones de operación de un proceso, con el fin de medir el efecto sobre una o varias propiedades del producto o del individuo en estudio.*

### Definición 2.2 (Unidad Experimental)

*Objetos u individuos sobre los cuales se obtiene una medición de interés.*

### Definición 2.3 (Variable respuesta)

*Característica, resultado o propiedad medida en cada unidad experimental, cuyos cambios se desean estudiar.*

### Definición 2.4 (Factores controlables)

*Variables del proceso que se pueden fijar en un valor específico, ya que existe el mecanismo para cambiar su nivel.*

### Definición 2.5 (Factores no controlables)

*Variables que no se pueden controlar durante la operación normal del proceso, como por ejemplo variables ambientales.*

### Definición 2.6 (Factores de estudio)

*Variables cuyos efectos sobre la respuesta se investigan en el experimento: Pueden ser controlables o no controlables (pero posibles de controlar durante el experimento). Se requiere probarlos en al menos dos niveles. Los factores en principio pueden afectar la media y/o la varianza de la variable respuesta.*

## Definición 2.7 (Niveles)

*Valores asignados a cada factor de estudio.*

## Definición 2.8 (Tratamientos)

*Si el DOE involucra solo un factor de estudio, sus niveles son los tratamientos. Cuando se involucran dos o más factores cuyos efectos se quieren estudiar, los tratamientos son cada combinación de niveles de los factores en estudio.*

Por ejemplo, considere dos factores a cuyos efectos quieren estudiarse simultáneamente: factor  $A$  con niveles  $A_1, A_2$  y factor  $B$  con niveles  $B_1, B_2$

Tratamientos		
Niveles de A	Niveles de B	Tratamiento
$A_1$	$B_1$	$A_1 B_1$
$A_1$	$B_2$	$A_1 B_2$
$A_2$	$B_1$	$A_2 B_1$
$A_2$	$B_2$	$A_2 B_2$



### Definición 2.9 (Error aleatorio)

*Variabilidad observada que no se puede explicar por los factores estudiados, es debido a “causas comunes o aleatorias”, que generan la “variabilidad inherente del proceso”. Incluye efectos pequeños de factores no estudiados, variabilidad de las mediciones hechas bajo mismas condiciones, y el error experimental.*

### Definición 2.10 (Error experimental)

*Representa los errores del experimentador en la planeación y ejecución del experimento. Si el factor o factores estudiados son influyentes sobre la variable respuesta, se espera que la variabilidad observada en ésta durante la experimentación, sea explicada significativamente por tales factores y en menor medida por el error aleatorio, y que éste último sea realmente aleatorio.*

# Contenido

- 1 Qué es diseño de experimentos
- 2 Definiciones básicas en DOE
- 3 Ciclo Deming de la experimentación (ciclo PHVI)**
- 4 Principios del DOE
- 5 Estructuras componentes de los modelos en DOE
- 6 Modelos ANOVA
- 7 Modelos ANOVA vs. modelos de regresión lineal

## Ciclo Deming de la experimentación (ciclo PHVI)

### 1 *P: Planear el experimento:*

- ¿Cuántos tratamientos van a ser estudiados?
- ¿Cuántas veces observar cada tratamiento (réplicas)?
- ¿Cuáles son las unidades experimentales?
- ¿Cómo se aplicarán los tratamientos a las unidades experimentales disponibles y luego observar las respuestas?
- ¿Puede el diseño resultante ser analizado o se pueden hacer las comparaciones deseadas?

### 2 *H: Hacer las corridas experimentales*

### 3 *V: Verificar y analizar los resultados*

### 4 *I: Implementar los resultados*

#### Sobre la planeación de un DOE

Ver Secciones 1.2 y 1.3 en el Capítulo 1 de Notas de Clase. Ver además: 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.

URL: <https://www.jstor.org/stable/1269280>.

# Contenido

- 1 Qué es diseño de experimentos
- 2 Definiciones básicas en DOE
- 3 Ciclo Deming de la experimentación (ciclo PHVI)
- 4 Principios del DOE**
  - Aleatorización
  - Bloqueo
  - Replicación de tratamientos
- 5 Estructuras componentes de los modelos en DOE
- 6 Modelos ANOVA

## Principios del DOE - Aleatorización

***Es la base para un análisis estadístico correcto.***

- *Previene la introducción de sesgo sistemático en el experimento.*
- *Si no aleatorizamos, no podemos decir si una diferencia observada es debida a las diferencias entre los tratamientos o debida al método sistemático usado al asignar los tratamientos a las unidades experimentales.*
- *Se debe aleatorizar:*
  - La selección de unidades experimentales
  - La asignación de las unidades experimentales a los tratamientos
  - Las corridas experimentales

## Principios del DOE - Bloqueo

***Su objetivo es seleccionar y agrupar el material experimental de modo que sea reducido el ruido o error experimental. Los grupos de unidades similares u homogéneas son denominados bloques.***

- *La homogeneidad de las unidades experimentales permite medir mejor las diferencias entre los tratamientos.*
- Sin embargo, en la mayoría de los experimentos es imposible seleccionar todas las unidades experimentales idénticas.
- *La no similaridad entre las unidades experimentales contribuye al ruido.*
- Los experimentos pueden ser mejorados si agrupamos las unidades experimentales dentro de grupos de unidades cercanamente similares.
- *Los tratamientos pueden ser comparados sobre las unidades experimentales similares donde la variación de grupo puede ser considerada para el análisis.*

## Principios del DOE - Replicación de tratamientos

***Una réplica de un tratamiento es una observación independiente de éste, luego, dos réplicas de un tratamiento deben involucrar a dos U.E distintas.***

- Una estimación de la varianza del error no puede obtenerse a menos que algunos o todos los tratamientos sean replicados.
- Muy a menudo se usan muestras divididas para generar dos observaciones y las llaman réplicas cuando en realidad son submuestras o medidas repetidas y no repeticiones.

**Ejemplo:** Considere un experimento para comparar las habilidades de tres conservantes para inhibir el crecimiento de hongos sobre cierto tipo de torta. El panadero hace una torta con cada conservante. Después de nueve días de almacenamiento, se mide el número de esporas de hongos por  $\text{cm}^3$  de torta. El panadero quería 10 repeticiones para el análisis, así que dividió cada torta en 10 porciones y obtuvo el conteo de esporas en cada parte. Sin embargo, esas 10 mediciones no resultaron de 10 aplicaciones independientes del conservante. La variación medida por sus submuestras es un índice de la variación dentro de la torta y no de la variación de unidad experimental a unidad experimental. Para tener 10 repeticiones, el panadero necesita batir 10 tortas con cada conservante, cada una mezclada independientemente de las demás.

Qué es diseño de experimentos  
Definiciones básicas en DOE  
Ciclo Deming de la experimentación (ciclo PHV1)  
**Principios del DOE**  
Estructuras componentes de los modelos en DOE  
Modelos ANOVA  
Modelos ANOVA vs. modelos de regresión lineal  
Referencias

Aleatorización  
Bloqueo  
**Replicación de tratamientos**

## Sobre los principios fundamentales

Ver en Sección 1.4: “Los tres principios fundamentales de la experimentación”, Capítulo 1 de Notas de Clase, la ampliación sobre los principios de aleatorización, bloqueo y replicación.



## ***Es importante diferenciar entre una repetición y una replicación, pues***

- *La varianza del error estimada con las submuestras es en general considerablemente menor que la varianza del error estimada con replicaciones o unidades experimentales diferentes.*
- *El estadístico de la prueba ANOVA construido usando la varianza del error estimada con las submuestras, será mucho mayor que lo que debería ser, llevando a determinar más diferencias significativas entre tratamientos de las que realmente lo son.*

# Contenido

- 1 Qué es diseño de experimentos
- 2 Definiciones básicas en DOE
- 3 Ciclo Deming de la experimentación (ciclo PHVI)
- 4 Principios del DOE
- 5 Estructuras componentes de los modelos en DOE**
- 6 Modelos ANOVA
- 7 Modelos ANOVA vs. modelos de regresión lineal

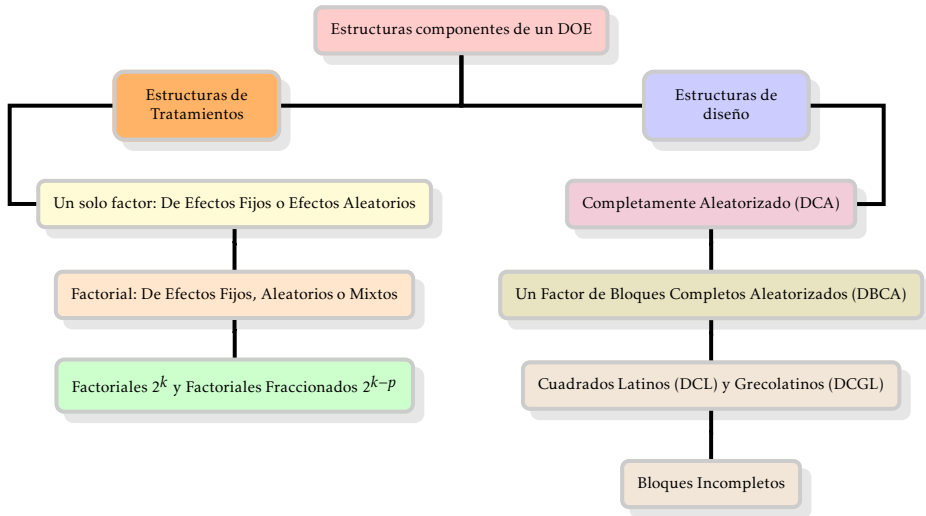
## Estructuras componentes de los modelos en DOE

*Un diseño experimental consiste de dos estructuras básicas las cuales deben ser representadas en el modelo estadístico:*

- **La estructura de tratamientos:** Conjunto de tratamientos, combinaciones de tratamientos, o poblaciones que el experimentador ha seleccionado para estudiar y/o comparar.
- **La estructura de diseño:** Agrupamiento de las unidades experimentales dentro de grupos homogéneos o bloques.

*Luego, el diseño experimental comprende:*

- La elección de la estructura de tratamientos,
- La elección de la estructura de diseño y
- El método de aleatorización, el cual pone en contacto las estructuras de tratamiento y de diseño.



**Figura 1:** Clasificación de las estructuras básicas de tratamiento y de diseño en DOE.

## Nota 5.1

### ***Hay otras estructuras de diseño en donde aplican:***

- *la partición de unidades muestrales en submuestras (parcelas divididas),*
- *medidas repetidas,*
- *datos longitudinales.*

### ***También existen otras estructuras de tratamientos especiales para***

- *la optimización de procesos (diseños de superficies de respuesta),*
- *robustificación de procesos (diseños Taguchi),*
- *la definición de mezclas de ingredientes (diseños de mezclas).*

## Sobre las estructuras y clasificación de los DOE

Ver Sección 1.5: “Estructura de un diseño experimental” y Sección 1.6: “Clasificación de los diseños de experimento”, Capítulo 1 de Notas de Clase.

## Ver Además ...

Ver en Notas de Clase, Capítulo 1, las siguientes Secciones:

- Sección 1.7: “La investigación experimental vs. DOE”,
- Sección 1.8: “Consideraciones prácticas”
- Sección 1.9: “Qué se hace después del primer experimento”
- Sección 1.10: “Qué hacer cuando ningún efecto es significativo”
- Sección 1.11: “Ejemplos de DOE”

# Contenido

- 1 Qué es diseño de experimentos
- 2 Definiciones básicas en DOE
- 3 Ciclo Deming de la experimentación (ciclo PHVI)
- 4 Principios del DOE
- 5 Estructuras componentes de los modelos en DOE
- 6 Modelos ANOVA**
- 7 Modelos ANOVA vs. modelos de regresión lineal

## Modelos ANOVA

### *En DOE aplicamos modelos conocidos como modelos de Análisis de Varianza (ANOVA)*

- No requieren ningún supuesto acerca de la relación estadística entre la variable respuesta y las predictoras (los factores de tratamientos).
- No requieren que las variables predictoras (los factores de tratamientos) sean cuantitativas.

### *Supuestos básicos en modelos ANOVA*

- ❶ Las componentes de la estructura de diseño, es decir, los bloques son una muestra aleatoria de la población de bloques o de unidades experimentales.
- ❷ No hay interacción entre las componentes de la estructura de diseño con las componentes de la estructura de tratamientos. es decir, los bloques no influenciarán las diferencias entre los tratamientos.
- ❸ Sin embargo, si pudiera ocurrir interacción entre las estructuras, los factores de ruido o bloqueo deberían incluirse en la estructura de tratamientos o incluirse como covariables.



**Modelo lineal de la respuesta en un modelo ANOVA.** La idea general es expresar la variable respuesta  $Y$ , en términos de “efectos” que contribuyen a la variabilidad, así,

$$Y = \mu + (\text{efectos de tratamientos}) + (\text{efectos de diseño}) + \text{Error} \quad (1)$$

- **Media Global,  $\mu$ :** Media general de la respuesta en toda la población estadística.
- **Efectos de Tratamientos:** son un reflejo del efecto de los tratamientos simples o combinaciones de factores.
- **Efectos de Diseño:** son determinados por el diseño del control del ruido experimental, en particular, efectos debidos a las varias clases de bloqueo.
- **Error:** la variabilidad observada que no se puede explicar por los factores estudiados, sino que es debida a “causas comunes o aleatorias”. Incluye efectos pequeños de factores no estudiados, variabilidad de las mediciones hechas bajo mismas condiciones, y el error experimental.

# Contenido

- 1 Qué es diseño de experimentos
- 2 Definiciones básicas en DOE
- 3 Ciclo Deming de la experimentación (ciclo PHVI)
- 4 Principios del DOE
- 5 Estructuras componentes de los modelos en DOE
- 6 Modelos ANOVA
- 7 Modelos ANOVA vs. modelos de regresión lineal**

## Modelos ANOVA vs. modelos de regresión lineal

### REGRESIÓN

- *Estudia la relación estadística entre una o más variables predictoras y una variable respuesta.*
- *La función de regresión establece la naturaleza de la relación entre la respuesta media y los niveles de las variables predictoras.*

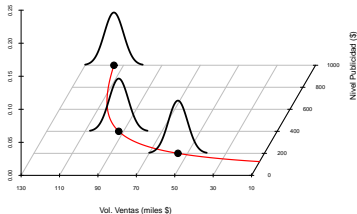


Figura 2: Adaptado de Kutner et. al. (2005)

### ANOVA

- *Los niveles de las variables predictoras son tratados como poblaciones separadas, cada una conduciendo a una distribución de probabilidad diferenciada por su media.*
- *Las diferencias cuantitativas entre niveles de un factor y sus relaciones estadísticas con los valores separados de la variable respuesta no son consideradas.*

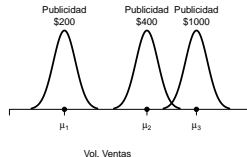


Figura 3: Adaptado de Kutner et. al. (2005)

- Dean, A., Voss, D., and Draguljić, D. (2017). *Design and Analysis of Experiments*, 2<sup>nd</sup> Edition. Springer.
- Gutiérrez Pulido, H. y de la Vara Salazar, R. (2012). *Análisis y Diseño de Experimentos*, 3<sup>a</sup> Edición. McGraw-Hill.
- Kuehl, R. O. (2001). *Diseño de Experimentos. Principios Estadísticos de Diseño y Análisis de Investigación*, 2<sup>a</sup> Edición. Thomson Learning.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., and Li, W. (2005). *Applied Linear Statistical Models*, 5<sup>th</sup> Edition. McGraw-Hill Irwin.
- Montgomery, D. C. (2020). *Design and Analysis of Experiments*, 10<sup>th</sup> Edition. John Wiley & Sons, Inc.