

# *Diseño de Experimentos*

-2

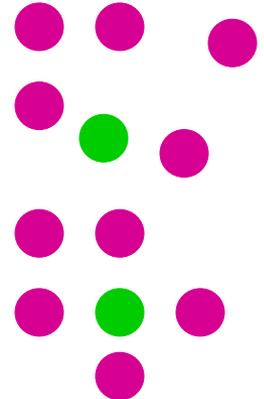
0

2

t

Dr. Raúl René Robles de la Torre

rrenerdlt@yahoo.com, redelator@ipn.mx



Dr. R. René R. DLT.

**Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada**

**Instituto Politécnico Nacional**

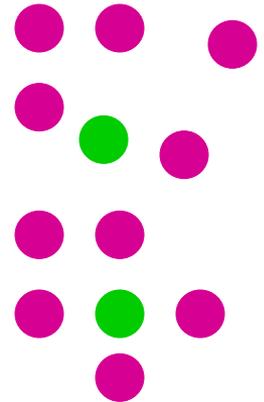
# Origen



A **R. A. Fisher**, estadístico inglés que trabajó en estadística agrícola, se le considera el fundador del *“Diseño Experimental”*.

Desde 1926 publicó su libro: *“The Design of Experiments”*, aunque inicialmente aplicado a *problemas agrícolas*, actualmente su trabajo es la base del **DISEÑO DE EXPERIMENTOS** y esta se aplica en casi todas las áreas de la ciencia.

La multi-citada y multi-conocida *“Prueba F”* del ANOVA, se denominó en honor a **R. A. Fisher**.

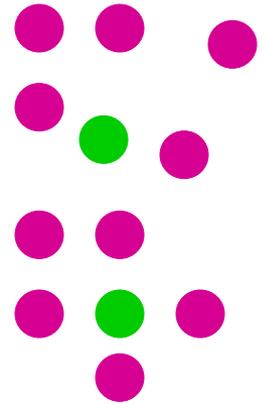


# Definiciones

Ostle y Mensing, (1975) definieron al DE como la *secuencia de pasos* que se toman previos a la experimentación para asegurar que los datos que se tengan sean apropiados y que permitan un *análisis objetivo* y conduzcan a inferencias válidas relacionadas con el problema establecido.

Mientras que Montgomery (2002) establece que un Experimento es una PRUEBA en la que *se hacen cambios deliberados* en las *variables de entrada* de un proceso o sistema para observar e identificar las razones de los *cambios* que pudieran observarse en la *respuesta de salida* ó *variable de respuesta*.

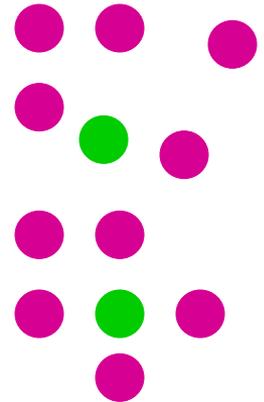
En general menciona que un *Diseño Estadístico de Experimentos* es el proceso de planear el experimento de tal forma que se recaben datos adecuados que puedan *analizarse* con métodos *estadísticos* y que lleven a *conclusiones válidas y objetivas*



# Objetivos



El objetivo del *diseño de experimentos* es estudiar o probar **si** al utilizar un determinado tratamiento se produce una **mejora** en el proceso o **no**. Para ello se debe **experimentar** utilizando el tratamiento y no utilizándolo.

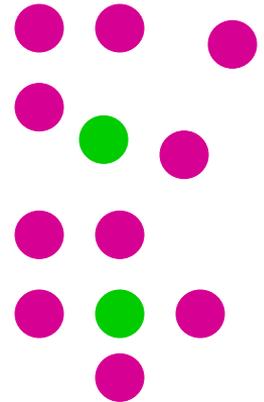


# Objetivos



En el análisis de los resultados de los experimentos se utilizan modelos estadísticos clásicos, cuyo objetivo es averiguar **si** determinados factores influyen en la variable de interés y, **si existe** influencia de algún factor, cuantificarla.

Los *Diseños Experimentales* se utilizan en todas las áreas de la ciencias experimentales, aunque también es posible utilizarlos con datos históricos o bien con observaciones, (no causal, asocia).

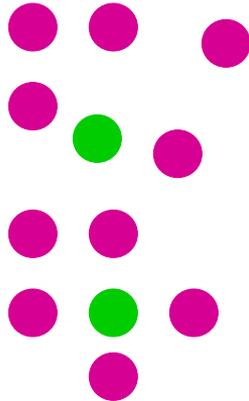


## Importancia

La *experimentación* desempeña un papel muy importante en todas las *ciencias experimentales*, ya sea para el *diseño* de nuevos productos, para *desarrollar, modificar y mejorar procesos* de manufactura.

En ciencias básicas también juega un papel fundamental, *ejemplos* típicos de experimentos son: dietas, fertilizantes, composición de medios de cultivo, tipos de microorganismos, concentración de un reactante, temperatura de un proceso, pH de reacción, etc.

En cualquier experimento los *resultados* y las *conclusiones* que puedan sacarse dependen en gran medida de la manera en que se *recabaron* los datos, de manera que si el experimento no es bien planeado las conclusiones no serán objetivas.

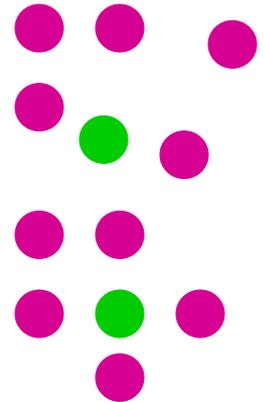


# Propósitos



Un experimento se realiza por alguno de los siguientes motivos:

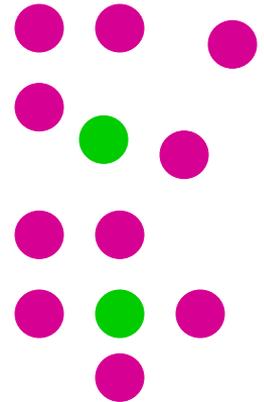
- \* Determinar las principales *causas de variación* en la respuesta.
- \* **Encontrar** las condiciones experimentales con las que se consigue un valor **extremo** en la variable de interés o **respuesta**, (Optimizar).
- \* **Comparar** las respuestas en diferentes **niveles** de observación de variables controladas.
- \* Obtener un **modelo** estadístico-matemático que permita hacer **predicciones** de respuestas futuras.



# Metodología



La metodología del Diseño de Experimentos estudia cómo variar las condiciones *habituales* de realización de un proceso empírico para aumentar la probabilidad de detectar cambios significativos en la respuesta, de esta forma se obtiene un mayor conocimiento del comportamiento del proceso de interés. En investigación las unidades experimentales se someten a un tratamiento, los resultados se comparan con la unidades SIN tratar.



# Metodología:

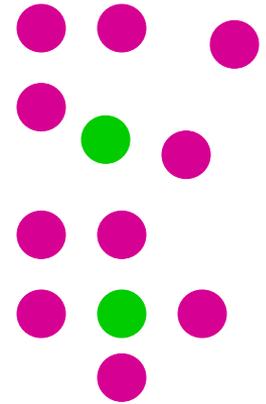
Del D. E., se basa en la *experimentación*



- Es conocido que si se repite un experimento, en condiciones indistinguibles, los resultados van a presentar cierta *variabilidad*, la cual puede ser *normal*..... hasta un cierto valor..... "pequeño".

Si a cada grupo de material se aplica un *tratamiento diferente*, se tendrá así otra fuente de *variación*.

- Si la experimentación se realiza en un laboratorio donde la mayoría de las *causas* de variabilidad están muy *controladas*, el error experimental será pequeño y habrá poca variación en los resultados del experimento.

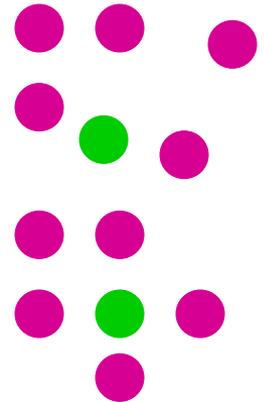


# Metodología



Si la variabilidad experimental es grande, sólo se detectará la *influencia* del uso del **tratamiento** cuando éste produzca grandes cambios en relación con el error de observación.

Pero si se experimenta en procesos industriales o administrativos y se encuentra una variabilidad mucho mayor, podría tenerse una tercera fuente de variación, esta es peligrosa porque podría estar oculta, .....



*Del estudio y análisis de esa variabilidad se podrán sacar conclusiones importantes.*

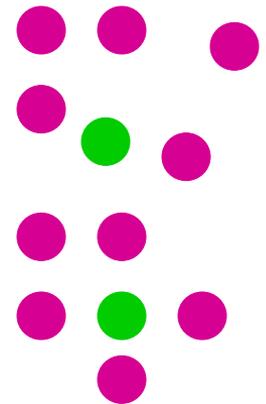
Muestra

--INFERENCIAS--

población



Un objetivo importante de los estudios es lograr una *estimación* de la **varianza** del error experimental.



### Fuentes de VARIACIÓN:

- Variabilidad típica de la *naturaleza* del problema y del experimento.
  - Variabilidad sistemática y planificada.
  - Variabilidad sistemática y NO planificada.

Uno de los principales objetivos de los modelos estadísticos y, en particular, de los modelos de diseño de experimentos, es *controlar* la *variabilidad* de un proceso estocástico que puede tener diferente origen.



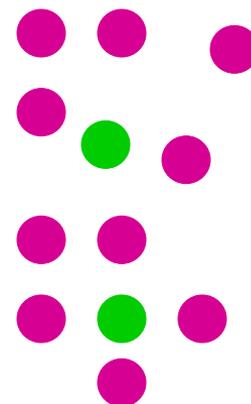
## — Variabilidad sistemática y planificada.

Esta variabilidad viene originada por la posible dispersión de los resultados debida a diferencias sistemáticas entre las distintas condiciones experimentales impuestas en el diseño por *deseo expreso* del experimentador.

Es el tipo de variabilidad que se *intenta identificar* con el diseño estadístico.

Cuando este tipo de variabilidad está presente y tiene un tamaño importante, se espera que las respuestas tiendan a agruparse formando grupos (clusters).

Es *deseable* que exista esta variabilidad y que sea identificada y cuantificada por el modelo.

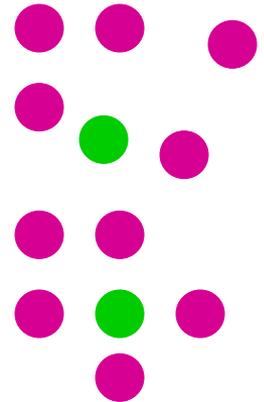


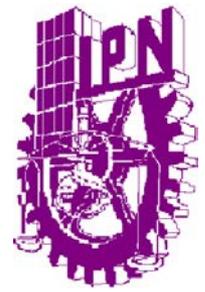
## — Variabilidad típica de la naturaleza del problema y del experimento.

Es la variabilidad debida al ruido aleatorio. Este término incluye, entre otros, a la componente de variabilidad no planificada denominada error de medida. Es una variabilidad impredecible e inevitable. Esta variabilidad es común que se presente en las repeticiones

Sin embargo, bajo el aparente *caos*, existe un patrón regular de comportamiento en esas medidas: todas ellas tenderán a fluctuar en torno a un valor central y siguiendo *un modelo de probabilidad* se puede estimar.

Esta variabilidad es *inevitable* pero, si el experimento ha sido bien planificado, es posible estimar (medir) su valor, lo que es de gran importancia para obtener conclusiones y poder hacer predicciones. Es una variabilidad que va a estar siempre presente pero que es *tolerable*.

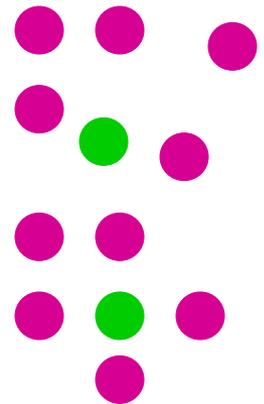




## — Variabilidad sistemática y NO planificada.

Esta variabilidad produce una variación sistemática en los resultados y es debida a causas desconocidas y no planificadas. En otras palabras, los resultados están siendo **sesgados** sistemáticamente por causas desconocidas. La presencia de esta variabilidad supone la principal causa de **conclusiones erróneas** y estudios incorrectos al ajustar un modelo estadístico. Este tipo de variabilidad debe de intentar **evitarse**.

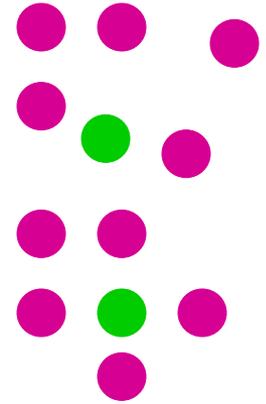
Existen dos **estrategias** básicas para tratar de evitar la presencia de este tipo de variabilidad: la **aleatorización** y la técnica de **bloques**.



Entradas  
→  
Materia prima

Proceso,  
Sistema, o  
Experimento.  
*transformación*

Salidas  
→  
Producto



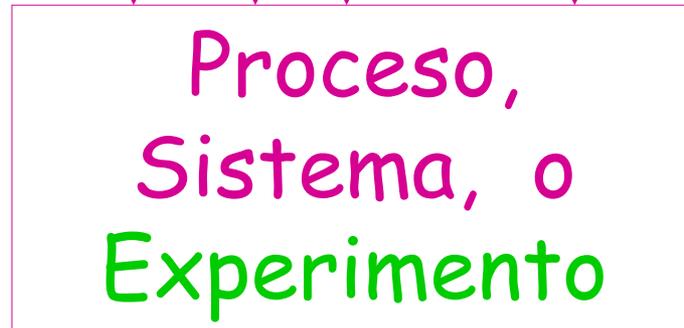
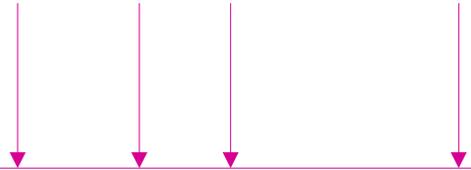
Dr. R. René R. DLT





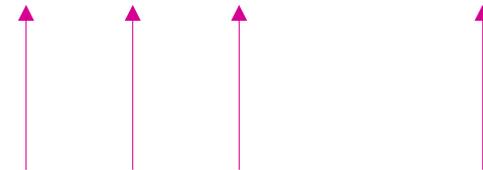
Ambientales, desgastes, etc  
Factores **NO** Controlables

$X_a, X_b, X_c, \dots, X_i.$



Entradas

Salidas

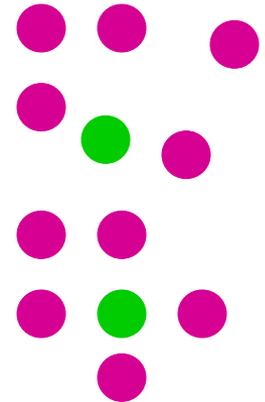


$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n.$

Factores **Controlables**

Temp, P, C, tipo mp, máquinas, etc.

Factores de **estudio**



Dr. R. René R. DLT



# Fuente de variación

VARIABLES

$X_a, X_b, X_c, \dots, X_i.$

*Efecto ?*

Entradas

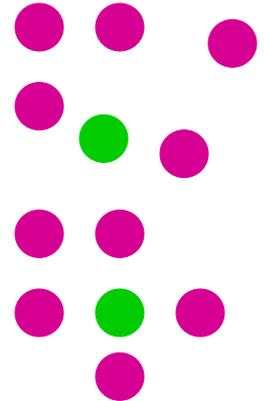
Proceso o  
*experimento*

$Y,$  Variable  
De Respuesta

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n.$

Fuente de variación

*Efecto +*



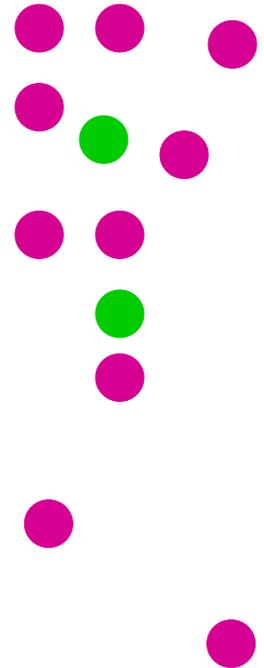
# Principio básicos

Desde 1926 Fisher estableció que son **tres** los ***principios básicos*** ó componentes más importantes del ***diseño experimental***, (Gacula 16, Mtgy 12)

**CONTROL LOCAL.** De las condiciones de campo para **disminuir** el *error experimental*, (ee). Otros autores mencionan al “bloqueo” como parte del control local.

**REPLICACIÓN.** Para estimar la **varianza** del error experimental, (ee).

**ALEATORIZACIÓN.** Para obtener una estimación **válida** de esa *varianza*.

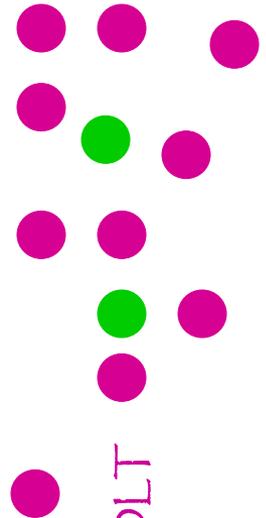


# Nomenclatura I.

UNIDAD EXPERIMENTAL. Materia o material sobre el cual se van a hacer los experimentos, i.e. área de tierra, animales, piezas de jamón, lotes de leche, matraces para fermentación, tubos de ensayo, etc.

TRATAMIENTO. La operación que se realiza sobre las unidades experimentales, i.e. el tipo o cantidad de fertilizante, la dieta o medicamento a los animales, la [C] de sales de curación, el tipo o cantidad de bacterias para hacer yogurt, el tipo o las [C] del medio de cultivo, el tipo de bacteria, las temperaturas a las que se hará un proceso, el diferente pH, etc.

Variable de ESTUDIO. Variable de la que se desea estudiar su efecto. En diseño es llamada FACTOR. Usualmente toma varios valores llamados NIVELES, del Factor.



Dr. R. René R. DLT

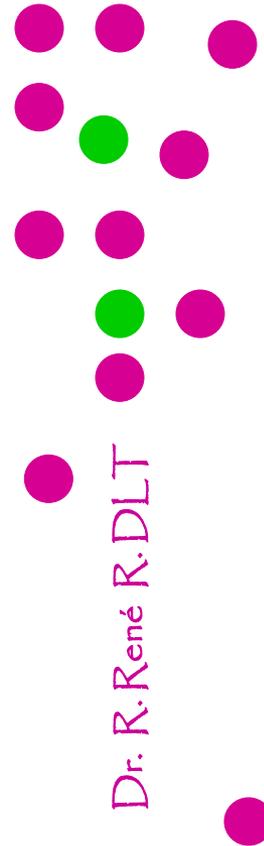


# Nomenclatura II.

Variable de Respuesta. Variable que se toma para **ver** el **efecto** del cambio en la variable de estudio. La variable de respuesta usualmente es una característica o propiedad del **producto o salida** del proceso. Por ejemplo: El rendimiento, el peso o estatura de animales, en el jamón, el color, la textura o bacterias, prueba sensorial, en el yogurt su viscosidad o textura, etc.

Factores de Bloqueo. Variables o fuentes de variación **EXTERNAS**, asociadas a la materia prima, o a la localidad, o alguna otra fuente de variación en las que usualmente **NO** se está interesado pero se sabe que están presentes, y se deben separar y cuantificar.

Aleatorización. Procedimiento para **asignar** las **UE** a los **tratamientos**, con el propósito de disminuir el sesgo en la investigación y una estimación **válida** de la varianza.



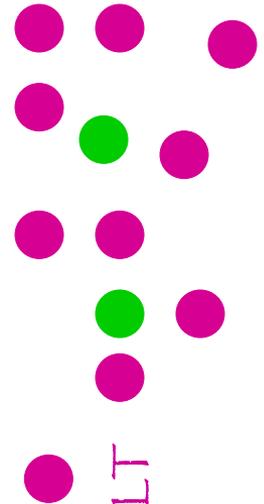
Dr. R. René R. DLT

# Nomenclatura III.

Factor, factorial. En el DE una variable de ESTUDIO, recibe el nombre de *factor*. Un diseño *factorial* implica estudiar la acción *simultánea* de dos o más factores.

Efecto. Se dice que un factor tiene *efecto*, -sobre la variable de *respuesta*-, si al cambiar el factor de un nivel a otro se observan cambios en la variable de respuesta.

Nivel. Valores particulares que toma el factor en estudio, por ejemplo, el factor *temperatura* puede tomar los *niveles*: *20°*, *25°*, *30°*, *35°* y *40°C*. Cada nivel representa un *tratamiento*, éste sería un experimento con UN factor y 5 niveles o simplemente *5 tratamientos*.



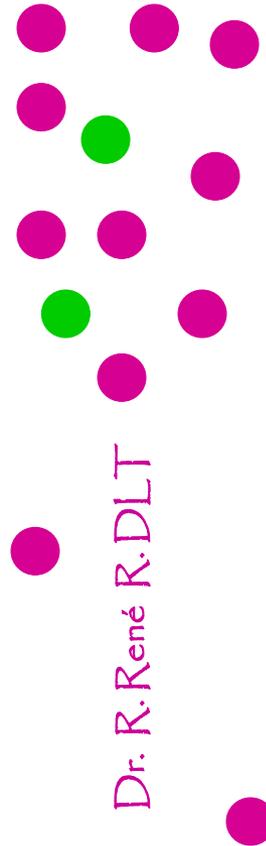
# Nomenclatura IV.

Réplica. Se refiere al número de veces que se REPITE un experimento básico, usualmente es igual para todos los tratamientos, por Ej. 3 replicas en cada uno de los 5 niveles:  $5 \times 3 = 15$  experimentos.

Factor de BLOQUEO. Siendo factor es una *variable*, que se sabe que existe y que, por lo tanto, es una fuente de variación en la V de respuesta. Al bloquearla se cuantifica su efecto y se disminuye el EE.

Factor perturbador. = Factor de bloqueo = factor externo o fuente de variación externa.

Interacción. Cuando en un DE *bifactorial* o de dos factores, la respuesta (o efecto) de un factor cambia con el cambio del nivel del otro factor.

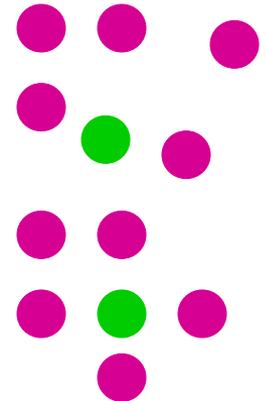


Dr. R. René R. DLT

# TODO EXPERIMENTO INCLUYE:

- **CONJETURA**: *Hipótesis* que motiva el experimento.
- **EXPERIMENTO**: la *prueba* para investigar la conjetura.
- **ANÁLISIS**: *estadístico* de los datos del experimento.
- **CONCLUSIÓN**: Qué se ha aprendido acerca de la conjetura original. (que puede motivar diseñar un nuevo experimento).

Todos los autores coinciden en señalar que lo más importante de un **DISEÑO EXPERIMENTAL** es tener una idea clara y precisa de **QUÉ** es lo que se desea probar, tener una **HIPOTESIS** de investigación, **CÓMO** se va a hacer el experimento, (recursos, tiempo, metodología), definir la variable de respuesta y su medición.....



Dr. R. René R. DLT



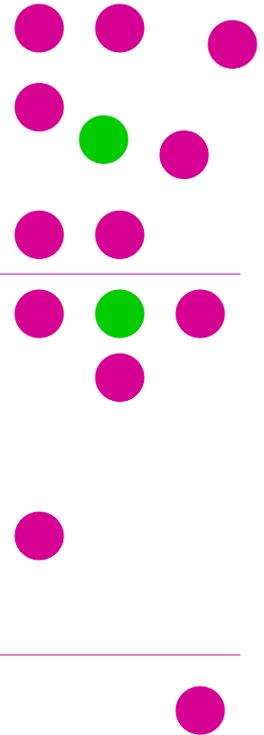


Diseñar un Experimento significa simplemente **PLANEAR** un experimento. Fue Sir. Ronald A Fisher también quien estableció la necesidad de implementar un **PLAN** general ó **PROGRAMA** de la investigación.

*Plan* que describa la Investigación en forma de estudios, de manera que se produzcan **OBSERVACIONES**, y que estas lleven el registro detallado del diseño, del análisis, de los resultados de los estudios, todo esto en un *libro* o *bitácora*.

El **ESTUDIO** debe incluir: i) **objetivo específico** del experimento, ii) identificación de los **factores** que influyen, iii) cuales factores varían, cuales permanecen constantes, iv) característica a medir; v) procedimientos para pruebas; vi) Número de réplicas y vii) Recursos y materiales disponibles.

Del objetivo del estudio se deriva una **HIPÓTESIS** ó conjetura original y que motiva el experimento, la cual se tratará de resolver, dilucidar o investigar con la experimentación.

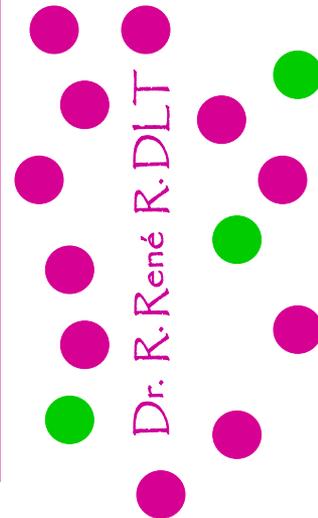


Se *supone* que tanto el experimentador como la persona que formula el diseño **CONOCEN** y entienden perfecta y claramente el **OBJETIVO** de la investigación propuesta. También se sobreentiende que el **diseño** va **ANTES** de la investigación o experimentación.



## Pautas, (Montgomery, 2002, p13). Procedimiento

- Identificación y exposición del problema.
- Elección de los **factores**, los niveles y los rangos
- Selección de la variable de **respuesta**.
- Elección del **diseño** experimental.
- **Realización** del Experimento.
- **Análisis estadístico** de los datos.
- **Conclusiones** y recomendaciones.



**“Los tratamientos elegidos deben concordar con las Hipótesis de Investigación”.**

# Diseños Experimentales

## Experimentos Comparativos Simples

- D. x Comparación GRUPOS
- D. x Comparaciones APAREADAS

## ✓ Diseños Completamente Aleatorios

- Las UE son asignadas *randomly* a los T.

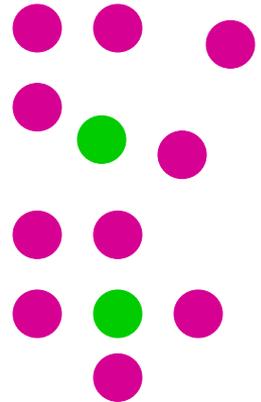
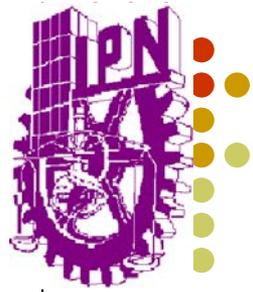
## ✓ Diseños de Bloques (C) al Azar

- Exista una FUENTA Variación externa
- Bloques (In) Completos.
- Más de una observación por celda, (interacc)
- D Cuadro Latino y C Greco Latino.
- D. Bloques composite: Com. Incompl.

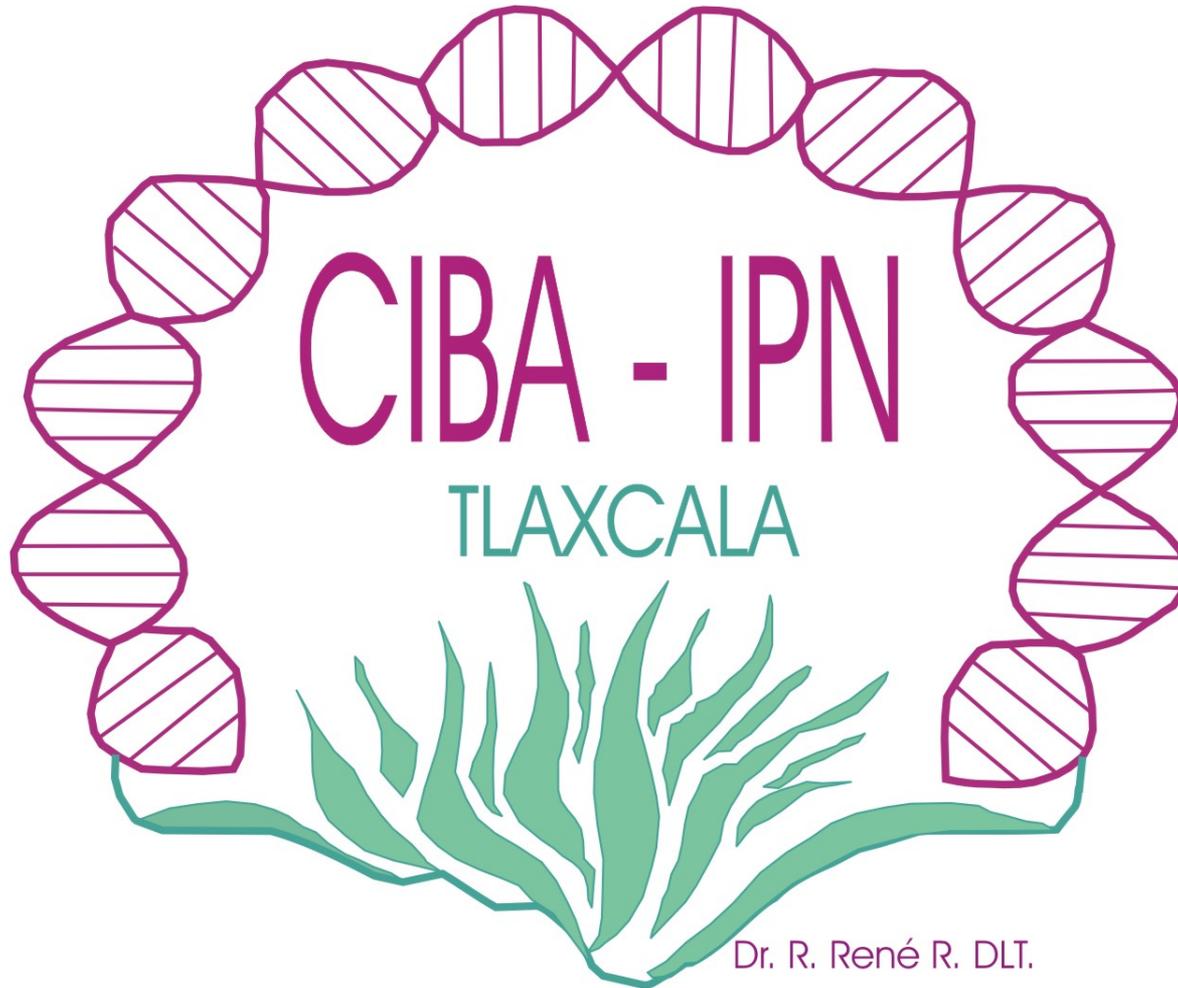
## ✓ Experimentos Factoriales

- Experimentos  $m \times n$   $2^n$  y  $3^n$ ,  $p \times q$  y  $p \times q \times k$
- Exp Factoriales -fraccionados

Dis. y Análisis x Superficie Respuesta



***“Bloquea lo que puedas, aleatoriza lo que no puedas”***



Dr. R. René R. DLT.

Dr. R. René R. DLT

