



UTPL

La Universidad Católica de Loja

Vicerrectorado de Modalidad Abierta y a Distancia

Diseño Experimental

Guía didáctica





Facultad Ciencias Exactas y Naturales

Diseño Experimental

Guía didáctica

Carrera	PAO Nivel
Seguridad y Salud Ocupacional	II
Logística y Transporte	IV

Autores:

Carlos James Naranjo Franco

Reestructurada por:

Diego Paúl Vélez Mora



Diseño Experimental

Guía didáctica

Carlos James Naranjo Franco

Reestructurada por:

Diego Paúl Vélez Mora

Diagramación y diseño digital

Ediloja Cía. Ltda.

Marcelino Champagnat s/n y París

edilocialtda@ediloja.com.ec

www.ediloja.com.ec

ISBN digital - 978-9942-25-967-7

Año de edición: octubre, 2020

Edición: primera edición reestructurada en enero 2025 (con un cambio del 30%)

Loja-Ecuador



Los contenidos de este trabajo están sujetos a una licencia internacional Creative Commons **Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual** 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0). Usted es libre de **Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material citando la fuente, bajo los siguientes términos: Reconocimiento- debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante. No Comercial-no puede hacer uso del material con propósitos comerciales. Compartir igual-Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original. No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Índice

1. Datos de información	8
1.1 Presentación de la asignatura.....	8
1.2 Competencias genéricas de la UTPL.....	8
1.3 Competencias del perfil profesional	8
1.4 Problemática que aborda la asignatura	8
2. Metodología de aprendizaje	9
3. Orientaciones didácticas por resultados de aprendizaje.....	10
Primer bimestre	10
Resultado de aprendizaje 1:	10
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas.....	10
Semana 1	10
Unidad 1. Introducción al diseño experimental.....	10
1.1. Definiciones básicas en el diseño de experimentos.....	10
Actividad de aprendizaje recomendada	20
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas.....	21
Semana 2.....	21
Unidad 1. Introducción al diseño experimental.....	21
1.2. Etapas sobre el diseño de experimentos	21
Actividad de aprendizaje recomendada	26
Resultados de aprendizaje 1 y 2:	27
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas.....	27
Semana 3.....	27
Unidad 1. Introducción al diseño experimental.....	27
1.3. Consideraciones generales sobre el uso de métodos estadísticos ..	27
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas.....	30
Semana 4.....	30
Unidad 1. Introducción al diseño experimental.....	30
1.4. Pasos para el planteamiento del diseño de investigación	30



1.5. Aplicación práctica en la selección de variables de respuesta.....	34
Actividad de aprendizaje recomendada	36
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas.....	37
Semana 5.....	37
Unidad 1. Introducción al diseño experimental.....	37
1.6. Tipos y selección de diseños experimentales.....	37
Actividad de aprendizaje recomendada	39
Autoevaluación 1	39
Resultado de aprendizaje 2:	42
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas.....	42
Semana 6.....	42
Unidad 2. Elementos de inferencia estadística	42
2.1. Experimentos comparativos simples	42
2.2. Conceptos básicos de pruebas de hipótesis	47
Actividades de aprendizaje recomendadas	49
Autoevaluación 2.....	49
Resultado de aprendizaje 3:	52
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas.....	52
Semana 7	52
Unidad 3. Experimentos con un solo factor	52
3.1. Análisis de varianza de un factor – ANOVA	52
3.2. Diseño completamente al azar.....	54
Actividad de aprendizaje recomendada	57
Resultados de aprendizaje 1 a 3:.....	58
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas.....	58
Semana 8.....	58
Actividades finales del bimestre	58
Segundo bimestre.....	60
Resultado de aprendizaje 4:	60



Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas..... 60

Semana 9 60

Unidad 3. Experimentos con un solo factor 60

3.3. Pruebas o comparaciones de rango múltiple 60

3.4. Verificación de los supuestos del modelo..... 63

Actividades de aprendizaje recomendadas 65

Autoevaluación 3..... 66

Resultado de aprendizaje 5: 69

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas..... 69

Semana 10 69

Unidad 4. Diseño en bloques 69

4.1. Diseño en bloques aleatorizados 70

4.2. Diseño en bloques incompletos balanceados 71

Actividad de aprendizaje recomendada 72

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas..... 72

Semana 11 72

Unidad 4. Diseño en bloques 72

4.3. Diseño en bloques de cuadro latino..... 72

4.4. Diseño en bloques grecolatino 74

Actividades de aprendizaje recomendadas 76

Autoevaluación 4..... 77

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas..... 80

Semana 12 80

Unidad 5. Diseños factoriales..... 80

5.1. Conceptos básicos 80

5.2. Ventajas de los diseños factoriales 81

Actividad de aprendizaje recomendada 81

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas..... 82

Semana 13 82



Unidad 5. Diseños factoriales.....	82
5.3. Diseños con dos factores.....	82
5.4. Diseños con tres factores.....	84
Actividades de aprendizaje recomendadas	85
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas.....	86
Semana 14.....	86
Unidad 5. Diseños factoriales.....	86
5.5. Diseños con dos factores.....	86
5.6. Diseños con tres factores.....	87
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas.....	89
Semana 15.....	89
Unidad 5. Diseños factoriales.....	89
5.7. Diseño factorial general.....	89
5.8. Modelos de efectos aleatorios.....	90
Actividades de aprendizaje recomendadas	92
Autoevaluación 5.....	92
Resultado de aprendizaje 4 y 5:.....	96
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas.....	96
Semana 16.....	96
Actividades finales del bimestre	96
4. Autoevaluaciones	97
5. Referencias bibliográficas	102





1. Datos de información

1.1 Presentación de la asignatura



1.2 Competencias genéricas de la UTPL

- Orientación a la innovación y a la investigación.
- Pensamiento crítico y reflexivo.

1.3 Competencias del perfil profesional

Analiza datos cuantitativos y cualitativos, que respalden las propuestas de prevención y manejo de enfermedades ocupacionales.

1.4 Problemática que aborda la asignatura

Escasa gestión integral de riesgos que disminuya la vulnerabilidad y garantice a la ciudadanía la prevención, respuesta y atención a todo tipo de emergencias y desastres originados por causas físicas, químicas, biológicas, psicológicas, ergonómicas y/o antrópicas.





2. Metodología de aprendizaje

Estimado estudiante; en el componente de Diseño Experimental se utilizará principalmente el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), prácticas de análisis estadístico y gamificación que se puede desarrollar en una variedad de escenarios y permite utilizar diversas estrategias para el aprendizaje, una de las características del ABP es que el estudiante se sitúa en un contexto real de su profesión y desarrolla el pensamiento crítico y la toma de decisiones para la resolución de un problema de la profesión, estos problemas aparecen como foros, prácticas o cuestionarios en el desarrollo de la asignatura.

La gamificación actualmente está reconocida como una técnica de aprendizaje que lleva los juegos al ámbito educativo, lo cual permite al estudiante desarrollar competencias como: pensamiento creativo e independencia en el aprendizaje. En este contexto, usted tendrá que realizar actividades como sopas de letras, crucigramas e infografías que le permitan fijar conocimientos de forma divertida.

Esta guía de Diseño Experimental (2020) es una recopilación de información revisada por el autor y descrita progresivamente con la idea de hacer más fácil el uso de diseños experimentales en la aplicación del desempeño profesional en todo ámbito, aunque esté orientado a estudiantes de la carrera de Seguridad y Salud Ocupacional de la UTPL. Muchos de los fundamentos teóricos usted los podrá obtener revisando la obra titulada Análisis y Diseños de Experimentos. Tercera edición. (Gutiérrez & de la Vara, 2012).





3. Orientaciones didácticas por resultados de aprendizaje



Primer bimestre

Resultado de aprendizaje 1:

Comprende cuando usar cada diseño experimental.

Estimado estudiante, bienvenido a la asignatura Diseño Experimental, a lo largo del desarrollo del curso se pretende compartir, poner en práctica y desarrollar competencias que le permitan diseñar experimentos, seleccionar variables y analizar relaciones de tal manera que usted al finalizar pueda alcanzar el resultado de aprendizaje 1, para lo cual se han seleccionado algunos contenidos que los iremos estudiando en cada bimestre.

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas

Recuerde revisar de manera paralela los contenidos con las actividades de aprendizaje recomendadas y actividades de aprendizaje evaluadas.



Semana 1

Unidad 1. Introducción al diseño experimental

1.1. Definiciones básicas en el diseño de experimentos

Entender el diseño experimental demanda conocer e interiorizar algunos conceptos fundamentales o básicos, que son necesarios para empezar a intentar no solo diseñar, sino seleccionar el tipo de diseño en función de las necesidades o disponibilidad de información. Pero primero es importante que usted pueda responder las siguientes preguntas:



¿Qué es el diseño experimental?

Creo que usted estará de acuerdo con la definición: el *diseño experimental* constituye una metodología sistemática para la planificación y ejecución de experimentos. Como señala Montgomery (2003), es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida.

Esta metodología permite no solo estructurar el orden de los experimentos, sino también garantizar la validez científica de las conclusiones. Según Melo Martínez et al. (2020), el diseño de experimentos proporciona un marco sistemático para recolectar y analizar datos de manera que se puedan establecer relaciones entre las variables estudiadas con un grado conocido de confianza estadística.

En el contexto práctico, el diseño experimental nos ayuda a determinar:

- ¿Qué variables tienen mayor influencia en la respuesta de interés?
- ¿Cómo ajustar estas variables para optimizar la respuesta?
- ¿Qué valores de las variables operativas ocasionan una menor variabilidad de la respuesta?
- ¿Cómo estructurar la secuencia de recolección de datos para minimizar el efecto de variables no controladas (Gavilánez Luna, 2020)?

Por ejemplo, en seguridad ocupacional, el diseño experimental permite evaluar la efectividad de diferentes tipos de Equipos de Protección Personal (EPP) considerando variables como el tiempo de uso, las condiciones ambientales y el tipo de actividad realizada. En logística, puede aplicarse para optimizar rutas de distribución analizando factores como el tiempo de entrega, consumo de combustible y capacidad de carga.

La importancia del diseño experimental radica en que permite obtener conclusiones válidas y objetivas a partir de la investigación empírica, minimizando el costo en recursos y tiempo (Mendenhall et al., 2010). Por ejemplo, en lugar de implementar cambios en todos los procesos de una



planta industrial para mejorar la seguridad, el diseño experimental permite identificar qué modificaciones son realmente efectivas mediante pruebas controladas en áreas específicas.

¿Por qué diseñar?

En la toma de decisiones, se puede esperar a que un evento o proceso emita señales por sí solo o se puede manipular dicho evento para obtener esas señales. En el segundo caso, la razón es intentar buscar que el evento o proceso mejore. Esto inherentemente generará conocimiento sobre el sistema o proceso, si se utiliza un conjunto de técnicas estadísticas que permiten entender situaciones de *causa y efecto*, conseguiremos no solamente tener sustento sobre nuestras afirmaciones o conclusiones sobre el evento o proceso, sino que también generamos más conocimiento e incertidumbre para posteriores ajustes.

En el campo de la Seguridad y salud ocupacional que es considerado un nuevo paradigma de gestión estratégica en las organizaciones (Martínez, 2017) usted diseñará experimentos para mejorar las condiciones de salud y de trabajo en las empresas e instituciones, a través de tareas de identificación, medición, análisis, evaluación y control de los diferentes riesgos laborales.

Procesos clave en el diseño experimental

El objetivo fundamental del diseño experimental es optimizar el proceso de generación de conocimiento y aprendizaje. Como señalan diversos autores, este proceso debe ser sistemático y eficiente:

Montgomery (2003) enfatiza que un buen diseño experimental debe maximizar la información obtenida con el mínimo de recursos invertidos. Por su parte, Gutiérrez y de la Vara (2012) destacan que el fin último es generar nuevas ideas y mejores respuestas a través de la experimentación controlada.



En el contexto práctico, Melo Martínez et al. (2020) señalan que esta eficiencia se logra mediante:

- La selección adecuada de variables a estudiar.
- La planificación cuidadosa de las mediciones.
- El uso de métodos estadísticos apropiados.
- La interpretación rigurosa de los resultados.

Por ejemplo, en seguridad ocupacional, un diseño experimental eficiente podría evaluar simultáneamente múltiples factores que afectan la ergonomía en un puesto de trabajo, como la altura de la superficie, la iluminación y la postura, minimizando el tiempo de experimentación sin comprometer la validez de los resultados.

En logística, esto podría aplicarse al estudiar la eficiencia de diferentes configuraciones de almacenamiento, donde factores como la distribución espacial, los métodos de *picking* (actividad de preparación de pedidos) y los sistemas de inventario pueden analizarse de manera sistemática para optimizar el rendimiento general del sistema (Gavilánez Luna, 2020).

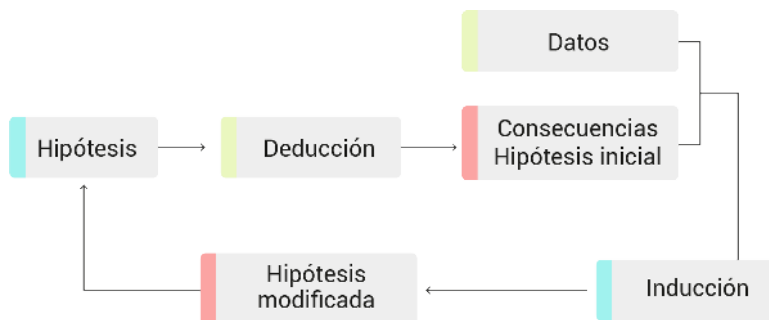
Podríamos mencionar que el punto de partida es generar una hipótesis (declaraciones o suposiciones de algo posible o no posible con el fin de obtener una consecuencia, de acuerdo con la definición de la palabra). La hipótesis inicial nos lleva a un **proceso de deducción** - en el que se asume como verdadera la hipótesis y se deducen consecuencias—, posteriormente, se debe comparar datos.

Cuando los resultados de los datos no corresponden se llega a un **proceso de inducción** - en el que se busca ajustar una nueva hipótesis que justifique la discrepancia con los datos- y así empieza un ciclo de teoría y datos creando lo que se conoce como ciclo de retroalimentación en el proceso de generación de conocimiento y aprendizaje (ver figura 1).



Figura 1

Proceso de generación de conocimiento y aprendizaje



Nota. Tomado de Análisis y diseño de experimentos (p. 3) [Infografía] por Gutiérrez, H. y de la Vara, R., 2012, MacGraw Hill. CC BY 4.0.

¿Qué es un experimento?

Manipulación de las condiciones de funcionamiento de un sistema o proceso, con el fin de conseguir medir el efecto del cambio sobre una o varias propiedades del sistema, proceso o producto que se quiere conseguir, incrementando el conocimiento que se tiene del sistema.

¿Qué es una unidad experimental?

Muestra utilizada para generar un valor representativo del resultado de un experimento. La o las unidades experimentales deben ser definidas cuidadosamente dependiendo del proceso o sistema que se estudia, esto implica que la unidad experimental puede estar representada por individuos, piezas o compuestos, parcelas, lotes, maquinarias, por mencionar unas cuantas.

Unidad de observación

Son los individuos, piezas o componentes a los que se realizan mediciones con el fin de obtener datos u observaciones, en general, en estos se hace la medición de la variable de respuesta que usted encontrará más adelante.

Variables

Por definición, toda variable es algo sujeto a algún cambio, es inestable, inconstante y mudable, representada generalmente por símbolos (números) que hacen posible identificar un elemento dentro de un conjunto, en estadística se define una variable como una propiedad que adquiere distintos valores.

Por ejemplo: x es una variable del conjunto $(0, 2, 4, 6, 8)$, lo que hace que x sea igual a cualquiera de los números mencionados, y como es una propiedad x puede ser reemplazada por cualquier número par incluyendo cero y hasta 8.

Existen varias clases de variables, pero en este capítulo solo nos referiremos a las más utilizadas en el diseño experimental.

Variable de respuesta y explicativa

La variable de respuesta (o dependiente), es aquella que mide el resultado o efecto del experimento. Típicamente, se representa en el eje Y de un gráfico y refleja los cambios que ocurren como resultado de las modificaciones experimentales. En seguridad ocupacional, por ejemplo, podría ser la tasa de accidentes laborales, el nivel de exposición a ruido o el índice de fatiga de los trabajadores. En logística, ejemplos comunes incluyen el tiempo de entrega, la eficiencia en el uso de combustible o el porcentaje de entregas exitosas.

La variable explicativa (o independiente), es aquella que el investigador manipula deliberadamente para observar su efecto sobre la variable de respuesta. Se representa tradicionalmente en el eje X y es la causa potencial de los cambios observados. Por ejemplo, en un estudio ergonómico podría ser la altura de la superficie de trabajo, mientras que en logística podría ser la capacidad de carga de los vehículos o la ruta de distribución seleccionada.

Es fundamental seleccionar adecuadamente estas variables para garantizar que el experimento proporcione información útil y relevante para los objetivos del estudio.



Factores estudiados

Los factores son variables que se deben investigar en el experimento, es decir, se investiga cómo afectan a la variable de respuesta. Se pueden clasificar en dos grupos;

- **Factores controlables**, son también llamados: variables del diseño, parámetros del proceso, variables de entrada, la x de un proceso, por mencionar algunos otros nombres, en todo caso, son variables que se pueden fijar en un nivel dado durante el experimento, se logran distinguir porque se pueden manipular.

Por ejemplo, la temperatura de cocción del pan no es independiente por sí, existe un mecanismo que hace posible que se pueda fijar.

En seguridad ocupacional, por ejemplo:

- Tiempo de exposición a un riesgo.
- Tipo de equipo de protección personal.
- Altura de superficies de trabajo.
- Niveles de iluminación.

En logística y transporte:

- Capacidad de carga de vehículos.
 - Rutas de distribución.
 - Tiempo asignado para entregas.
 - Número de puntos de distribución.
- **Factores no controlables**, también llamado ruido, son variables que NO se pueden controlar durante el experimento.

Por ejemplo, el estado de ánimo del obrero al momento de realizar un trabajo o recibir una orden.



Ejemplos en seguridad ocupacional:

- Estado anímico de los trabajadores.
- Condiciones climáticas en trabajos al aire libre.
- Variaciones en el flujo de trabajo.
- Factores individuales de los trabajadores.

Ejemplos en logística:

- Condiciones del tráfico.
- Clima durante el transporte.
- Comportamiento de los clientes.
- Eventos externos imprevistos.



Nota: cuando se cuenta con el mecanismo o la tecnología para controlar una variable no controlable, esta se convierte en un factor controlable.

Es importante recordar que la clasificación de un factor como controlable o no controlable puede variar según el contexto y los recursos disponibles (Gavilánez Luna, 2021). Por ejemplo, las condiciones ambientales pueden ser no controlables en un entorno industrial típico, pero controlables en un laboratorio especializado.

Niveles y tratamientos

Los niveles, también llamados puntos de diseño, son las magnitudes que se asignan o alcanzan las mediciones de cada factor en un diseño experimental (Gutiérrez, et al., 2012) y los tratamientos resultan de la combinación de niveles de todos los factores estudiados.

Por ejemplo: en seguridad ocupacional, supongamos un estudio sobre factores que influyen en el rendimiento seguro de los trabajadores. Los factores podrían ser:

- Altura de la superficie de trabajo (niveles: 90 cm y 110 cm).



- Peso de las cargas manipuladas (niveles: 10 kg y 20 kg).

En este caso, como señalan Domínguez y Tostado (2016), los tratamientos serían cada combinación posible de estos niveles:

Tabla 1
Niveles y tratamientos ejemplificados para la relación de los factores altura y peso

Nivel de altura (cm)	Nivel de peso (kg)	Tratamientos	Y
90	10	1	¿?
110	10	2	¿?
90	20	3	¿?
110	20	4	¿?

Nota. Tomado de *Análisis y diseño de experimentos* (p. 6), por Gutiérrez, H. y de la Vara, R., 2012, MacGraw Hill.

La variable respuesta Y podría ser, por ejemplo, el nivel de fatiga del trabajador o el tiempo para completar una tarea específica.

La elección de los niveles debe considerar tanto aspectos estadísticos como prácticos, incluyendo las limitaciones físicas, normativas de seguridad y viabilidad operativa (Mendenhall et al.,2015).

Tipos de errores en el diseño experimental

En cualquier estudio experimental, existe cierta variabilidad que se observa en los datos y, por tanto, que no puede ser explicada por los factores estudiados o de interés, principalmente porque se deben a causas comunes, cuando esto ocurre se atribuye esa porción de la variabilidad al **error aleatorio**: que son observaciones que no se pueden explicar por los factores estudiados y resulta



del efecto de los factores no estudiados y el **error experimental**: que es el componente del error aleatorio que refleja los errores del experimentador en la planificación y ejecución del experimento. Por ejemplo:

- En seguridad ocupacional: errores en la calibración de equipos de medición de ruido o en el registro de incidentes.
- En logística: errores en la medición de distancias o en el registro de tiempos de entrega.

Matriz de diseño

Para ejecutar un diseño experimental es fundamental decidir qué pruebas o tratamientos se van a hacer, además de cuántas repeticiones se requieren, con el objetivo de obtener más información de manera más eficiente (en relación con el esfuerzo y los costos del experimento). La *matriz de diseño* es una representación organizada que especifica las pruebas o tratamientos que se realizarán durante el experimento (Douglas, 2003).

Para elaborar una matriz de diseño eficiente se debe (Melo et al., 2007):

- Determinar qué pruebas o tratamientos se van a realizar.
- Establecer el número de repeticiones necesarias.
- Organizar la secuencia experimental.

El objetivo es obtener la máxima información con el mínimo de recursos experimentales (Domínguez y Tostado, 2016). Por ejemplo:

En seguridad ocupacional:

Una matriz para evaluar la efectividad de equipos de protección auditiva podría incluir:

- Diferentes tipos de protectores.
- Diversos niveles de exposición al ruido.
- Distintos períodos de uso.
- Múltiples repeticiones para garantizar la validez estadística.



En logística:

Una matriz para optimizar rutas de distribución podría considerar:

- Diferentes configuraciones de ruta.
- Distintos horarios de salida.
- Varios tipos de vehículos.
- Repeticiones en diferentes días de la semana.



Actividad de aprendizaje recomendada

Una vez que realizó la revisión de los contenidos de esta unidad, le invito a desarrollar las siguientes actividades recomendadas sobre los temas planteados en esta semana, el cumplimiento de estas le servirá como refuerzo de los conceptos fundamentales del diseño experimental, incluyendo:

- Variables y tipos de variables.
- Factores controlables y no controlables.
- Niveles y tratamientos.
- Tipos de error experimental.
- Matrices de diseño.
- Resuelva el siguiente juego de completar, esta actividad se centra en revisar algunos conceptos abordados en la unidad 1.

[Introducción al diseño experimental](#)





Semana 2

Unidad 1. Introducción al diseño experimental

1.2. Etapas sobre el diseño de experimentos

En la práctica, el diseño de un experimento demanda organización para conseguir el éxito, para alcanzar esto, es necesario ejecutar, por etapas, diferentes actividades. Las etapas del diseño experimental son.

- **Planeación y la ejecución**

Para conseguir el éxito en su experimento, usted debe planificar estrategia o actividades, establecidas de forma clara y concreta, para entender y delimitar un problema u objeto de estudio. Para poder responder a las preguntas o solucionar un problema, la planeación es seguramente el paso más importante y a la que debe usted dedicar mayor tiempo.

Por ejemplo: tiene usted que decidir sobre el mejor equipo de seguridad para los trabajadores en una industria cuyo ambiente laboral necesita proveer a sus trabajadores de equipos de protección especial contra productos químicos.

La planeación debe comenzar respondiendo preguntas fundamentales (Domínguez y Tostado, 2016):

- ¿Qué es lo que se va a estudiar?
- ¿Por qué es importante estudiarlo?
- Si se trata de un problema; ¿cuál es la magnitud de este problema?

Esta etapa debe incluir también consideraciones prácticas como (Mendenhall et al., 2015):

- Recursos disponibles.
- Limitaciones de tiempo.



- Restricciones presupuestarias.
- Consideraciones éticas y de seguridad.

Figura 2

Distintos trajes y accesorios de seguridad industrial



Nota. Naranjo, C., 2023.

Todo empieza por entender y delimitar el problema, en este caso, es necesario que usted haga una investigación previa entorno al objeto de estudio, debe quedarle claro:

- ¿Qué es lo que va a estudiar?
- ¿Por qué es importante estudiarlo?

- Si se trata de un problema; ¿cuál es la magnitud de este problema?

- **Seleccionar la o las variables de respuesta y verificar la confiabilidad de las mediciones:** especificar lo que se quiere comparar seguramente será de gran ayuda para usted y facilitará la planificación hasta la consecución de los resultados. La elección de la(s) variable(s) de respuesta es vital, puesto que refleja el resultado de las pruebas, por lo que deberían elegirse las que mejor reflejen el problema, recuerde tener certeza en que las mediciones que haga sean confiables (Gutiérrez, et al., 2012).
- **Definir los factores que se estudiarán:** establecen que los factores deben seleccionarse de acuerdo con su influencia potencial sobre la variable de respuesta. Esto no implica que se deba saber de antemano cuáles factores influyen, ya que precisamente ese es el objetivo del experimento (Domínguez y Tostado, 2016). Es recomendable:
 - Utilizar toda la información disponible.
 - Revisar literatura relevante.
 - Consultar con expertos en el área.
 - Incluir los factores que se cree tienen un mayor efecto.

Por ejemplo, en logística, al estudiar la eficiencia de rutas de distribución, los factores podrían incluir: horarios de salida, tipos de vehículos, capacidad de carga, o número de puntos de entrega.

- **Escoger los niveles de cada factor a estudiar y el diseño experimental más apropiado:** de acuerdo con los factores y los objetivos planteados; implica saber o planificar cuántas repeticiones se deberán hacer para cada tratamiento. No olvide tomar en cuenta los recursos disponibles, tiempo y dinero, e inclusive los riesgos a los que se expone, como por ejemplo, si lo que se quiere es seleccionar el tipo de traje basado en un experimento que incluya a los trabajadores. La organización y selección de los factores lo guiará a la elección del tipo de diseño experimental apropiado a su



investigación, los tipos los revisaremos más adelante. Por ejemplo, en seguridad ocupacional, al seleccionar trajes de protección química:

- Factor: material del traje.
 - Nivel 1. Material A (resistente a ácidos).
 - Nivel 2. Material B (resistente a solventes).
 - Nivel 3. Material C (resistente múltiple).
- **Organizar las labores experimentales.** Una vez seleccionado el tipo de diseño experimental, es muy importante que usted organice y planifique con mucho detalle el trabajo necesario para el experimento, por ejemplo, las personas que van a usar el traje, la forma en que se harán las mediciones, el tiempo que dedicará a cada etapa, etc.
- **Ejecutar el experimento.** Una vez seleccionado el tipo de diseño experimental, es muy importante que usted organice y planifique con mucho detalle el trabajo necesario para el experimento, por ejemplo, las personas que van a usar el traje, la forma en que se harán las mediciones, el tiempo que dedicará a cada etapa, etc.

Una vez organizado y planeado todo, es de mayor importancia que se siga al pie de la letra el plan antes previsto. La documentación detallada de procedimientos y el registro de cualquier desviación del plan original son fundamentales para la validez del experimento (Mendenhall et al., 2015).



Nota: si llegara a surgir un imprevisto hay que determinar las acciones o las direcciones a tomar y a quién reportar.

• Análisis

Esto implica que usted, como investigador, no debe olvidar que los experimentos obtienen muestras de una población, por ende, piense usted que debe usar métodos estadísticos inferenciales con el fin de asegurar



que los efectos encontrados sobre las muestras son lo suficiente como para garantizar las generalizaciones sobre la población (Gutiérrez, et al., 2012). El análisis debe considerar (Melo et al., 2007):

- La validez estadística de los resultados.
- La significancia práctica de los hallazgos.
- La variabilidad inherente al proceso.
- Las implicaciones operativas de los resultados.

• Interpretación

La interpretación de los resultados a partir de los análisis estadísticos debe ser minuciosa y en contraste con la o las hipótesis iniciales, lo que se busca es un nuevo aprendizaje o conocimiento del proceso, verificar supuestos y elegir el mejor tratamiento con el apoyo de los análisis (pruebas estadísticas).

• Control y conclusiones

Antes de comunicar los hallazgos y dar por concluido el experimento, es conveniente hacer conclusiones y tal vez recomendaciones, en nuestro ejemplo inicial habrá que sugerir la toma de una decisión (de un tipo de traje y accesorios), o en general, decidir qué medida se utilizarán o implementarán para generalizar los resultados del experimento y buscar la manera de que el mejor tratamiento se mantenga. Luego de esto, es importante comunicar o difundir los logros o hallazgos con una presentación o una comunicación escrita. Por ejemplo, en un estudio sobre equipos de protección:

- Decisión sobre el tipo de equipo más efectivo.
- Recomendaciones para su implementación.
- Protocolos de seguimiento y control.
- Plan de capacitación para usuarios.



La comunicación de resultados debe realizarse mediante una presentación o documento escrito que detalle tanto los aspectos técnicos como las implicaciones prácticas del estudio (Gavilánez Luna, 2021).



Actividad de aprendizaje recomendada

Una vez que realizó la revisión de los contenidos de esta unidad, le invito a desarrollar la siguiente actividad recomendada sobre los temas planteados en esta semana, el cumplimiento de estas le servirán como refuerzo de los conocimientos más importantes a considerar en la presente unidad:

- Resuelva el juego de seleccionar, esta actividad se centra en revisar algunos conceptos abordados en la unidad 1.

[Etapas sobre el diseño de experimentos](#)



Resultados de aprendizaje 1 y 2:

- Comprende cuando usar cada diseño experimental.
- Usa herramientas informáticas para el análisis de datos.

Por medio de estos resultados de aprendizaje, usted comprenderá cómo elaborar y cuándo usar cada diseño experimental, así como desarrollar habilidades en el uso de herramientas informáticas para el análisis de datos.

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas

Recuerde revisar de manera paralela los contenidos con las actividades de aprendizaje recomendadas y actividades de aprendizaje evaluadas.



Semana 3

Unidad 1. Introducción al diseño experimental

1.3. Consideraciones generales sobre el uso de métodos estadísticos

Aunque bajo el título “Consideraciones generales sobre el uso de métodos estadísticos” intentaremos generar una idea del análisis de datos usando métodos estadísticos, es necesario que usted no olvide de donde surgió la idea o la intención de solucionar un problema y que por sí solo los resultados de los análisis no garantizan el éxito del experimento.

Según Gutiérrez y de la Vara (2012) el conocimiento no estadístico es vital, haciendo referencia a ese conocimiento técnico o práctico sobre el proceso que se estudia que nos permitirán como investigadores poder apreciar con relativa facilidad los aspectos clave del objeto de estudio o proceso para poder hacer conjeturas precisas, seleccionar variables de respuesta y los factores que se deben estudiar. Además, permite reconocer la diferencia entre



significancia estadística e importancia práctica; a veces nuestros resultados presentan diferencias significativas entre tratamientos, pero en la práctica no necesariamente es importante.



Nota: Significancia estadística, quiere decir, que hay evidencia de que hay alguna diferencia entre variables estudiadas o entre los tratamientos aplicados en un experimento. En cuyo caso el resultado o efecto analizado es improbable que se deba al azar. El nivel de significancia de una prueba estadística está asociada a las pruebas de hipótesis.

Sin embargo, el diseño experimental tiene que ver con eventos de la naturaleza (asumiendo a la naturaleza como todo lo que ocurre en el planeta) o hechos que son observables y repetibles, sin embargo, “nada ocurre exactamente de la misma forma dos veces” (Gutiérrez, et al., 2012). Esto implica que hay cierta variabilidad (pequeñas diferencias) en esas observaciones, entonces ¿cómo se alcanza esta repetibilidad que demanda la ciencia o el diseño experimental?

Entonces, el punto de partida real para una correcta planeación del experimento es aplicar los principios básicos del diseño experimental; aleatorización, repetición y bloqueo, que revisaremos a manera de definiciones a continuación:

Aleatorización

Consiste en experimentar en orden al azar con elementos seleccionados también al azar (Gavilánez Luna, 2021). Esto es:

- Asegura que el supuesto de independencia del error se cumpla.
- Distribuye homogéneamente los efectos de factores no controlados.
- Reduce sesgos sistemáticos.



Por ejemplo: se aleatoriza cuando se escogen los trajes de manera que no sean influenciados por alguna condición (un solo proveedor), sino que se somete a un concurso abierto de oferta en función de un listado o pliego de petición y se aleatoriza más aún, si el pedido se hace a través de medios de comunicación de alcance estatal.

Repetición

Implica realizar o “correr” más de una vez un tratamiento o combinación de factores, recuerde no confundir este principio con medir varias veces el mismo resultado. Repetir permite distinguir, qué parte, de la variabilidad de los datos, se debe al error aleatorio y qué parte, se debe a los factores.



Nota: repetir es volver a realizar un tratamiento, cuando no hay repetición no hay forma de estimar la variabilidad propia del tratamiento o las variables (factores) ni el error aleatorio.

Por ejemplo, en seguridad ocupacional: repetir las pruebas de resistencia de equipos de protección en diferentes condiciones y con distintos usuarios. En logística: repetir las pruebas de rutas de distribución en diferentes días de la semana.

Bloqueo

Implica nulificar de forma “apropiada” todas las variables que pudieran afectar la respuesta, es decir, toma en cuenta de forma adecuada todos los factores que puedan afectar la respuesta, esto supone que, al bloquear, el subconjunto de datos obtenidos en el nivel particular del factor bloqueado debería ser más homogéneo que los datos totales.

Por ejemplo: si se quiere probar la resistencia de los trajes, se puede bloquear el factor usuario haciendo que una misma persona use todos los trajes en distintas actividades, esto si se supusiera que el usuario influye en la resistencia del traje.



Ejemplos:

- **En seguridad ocupacional:** usar el mismo trabajador para probar diferentes equipos de protección, bloqueando así la variabilidad entre usuarios.
- **En logística:** asignar el mismo conductor para probar diferentes rutas, eliminando la variabilidad debida al factor humano.

La efectividad del bloqueo depende de la correcta identificación de las fuentes de variación que pueden afectar los resultados del experimento (Gavilánez Luna, 2021).

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas



Semana 4

Unidad 1. Introducción al diseño experimental

1.4. Pasos para el planteamiento del diseño de investigación

El diseño de investigación fue considerado desde su inicio por R. A. Fisher en 1935 como la etapa inicial y fundamental. Esta planificación parte de los principios básicos de aleatorización, repetición y bloqueo, estableciendo un modelo estadístico que cuantifica la variación de los factores controlables y no controlables a través de la respuesta (Douglas, 2003).

A continuación, se detallan los pasos:

• Paso 1. Enunciar la pregunta de investigación

Implica redactar preguntas que sean contestables, comparativas, sencillas y atractivas, recuerde cuando haga su pregunta de investigación que esta debe incluir los factores que intervienen en el diseño.



• Paso 2. Clasificar la investigación

Es necesario que usted decida qué tipo de investigación realizará, es decir, si será de **tipo observacional**, siguiendo el ejemplo anterior; observando que este traje cumple con el objetivo de proteger mejor a los trabajadores, si este fuera el objetivo), en cuyo caso los factores aleatorios son reducidos o de **tipo experimental**, manipulando variables y controlando variables con el fin de obtener las respuestas, por ejemplo, probando los distintos trajes toda vez que haya hecho una selección previa con miras a reducir los costos del experimento.

• Paso 3. Ámbito espacial y temporal de la pregunta

Implica definir el área de estudio con exactitud, así mismo, definir el tiempo en que se realizará la investigación.

• Paso 4. Especificar lo que se quiere comparar

Es decir, mencionar los factores de diseño o variables independientes, al menos un factor y sus niveles, recuerde que los factores se enuncian en la pregunta, por ejemplo, ¿cómo cambia la resistencia de los trajes de protección en función del material de confección?

• Paso 5. Justificar los niveles de cada factor

Esto implica identificar las mediciones que adoptará cada factor, pudiendo ser de tipo niveles discretos, por ejemplo, porcentaje de materiales resistentes a abrasiones (10 %, 20 %, 30 %) o de tipo niveles continuos, por ejemplo, el tiempo de vida útil.



• Paso 6. Especificar la unidad de respuesta

Implica enunciar de qué tipo serán las unidades de respuesta, es decir, natural como la parcela, comunidad, persona, empresa, entre otras o artificial como un frasco, conjunto de tubos, cajas, Petri de cultivo, etc.

• Paso 7. Enlistar los posibles factores alineados

En este paso es conveniente también que usted haga un listado de posibles factores que, no siendo de interés en el experimento o investigación, puedan tener una influencia indirecta en la respuesta. Por ejemplo: en seguridad ocupacional: características demográficas de los usuarios, condiciones ambientales. En logística: condiciones climáticas, patrones de tráfico.

Es posible que estos factores alineados se correlacionen con la respuesta, convirtiéndose en covariables. Esto puede controlarse mediante: Replicación (repeticiones en los tratamientos), aleatorización de las unidades de experimentación u observación (Melo et al., 2007).



Recuerde también que es posible que los posibles factores alineados se correlacionen con la respuesta, en cuyo caso se convierte en una covariable, y se puede controlar replicando (repeticiones en los tratamientos) o aleatorizando las unidades de experimentación u observación.

• Paso 8. Definir las variables de respuesta

Como se mencionó antes: “La elección de la(s) variable(s) de respuesta es vital, puesto que refleja el resultado de las pruebas, por lo que deberían elegirse las que mejor reflejen el problema, recuerde tener certeza de que las mediciones que haga usted sea confiable (esto implica verificar los



equipos de medición, la calibración y la correcta operación de los mismos) (Gutiérrez, et al., 2012)". También llamada variable dependiente, puede tomar distintas formas, pudiendo ser categóricas, continuas, discretas, etc.

- **Paso 9. Definir la forma en cómo se van a obtener los datos**

Esto implica estar seguro de la manera de tomar los datos, la frecuencia en que se tomarán y las unidades de medida de la o las variables de respuesta. Se debe tener seguridad que las mediciones que se hagan son fiables. Recuerde que usted debe asegurarse que los instrumentos y métodos de medición son capaces de ser repetidos y reproducir una medición.

- **Paso 10. Definir el número de submuestras por unidad de respuesta y número de réplicas**

En este paso conviene preguntarse: en los niveles, ¿cuántas repeticiones se harán por cada tratamiento? Tome en cuenta el tiempo, costo y la precisión deseada. Además, si su unidad de respuesta es igual a la submuestra esto ya no es una réplica y es considerado pseudoréplica, que indica una falta de independencia en el submuestreo, por tanto, afectará al supuesto de independencia en sus resultados.

- **Paso 11. Definir el o los métodos estadísticos a usar**

Como se sugirió antes, los experimentos obtienen muestras de una población, por ende, piense usted que debe usar métodos estadísticos inferenciales con el fin de asegurar que los efectos encontrados sobre las muestras son lo suficiente como para garantizar las generalizaciones sobre la población (Gutiérrez, et al., 2012). ANOVA, por su acrónimo en inglés *Analysis of Variance*, es la técnica central utilizada en el análisis de experimentos, que más adelante revisaremos a detalle.



La interpretación de los resultados a partir de los análisis estadísticos debe ser minuciosa y en contraste con la (s) hipótesis iniciales, lo que se busca es un nuevo aprendizaje o conocimiento del proceso, verificar supuestos y elegir el mejor tratamiento.

1.5. Aplicación práctica en la selección de variables de respuesta

En la selección de variables de respuesta para un experimento, deben considerarse las siguientes premisas fundamentales:

1. Seleccionar las respuestas que mejor caractericen el objeto de estudio o proceso a investigar. Estas deben reflejar directamente el problema en cuestión (Douglas, 2003).
2. Garantizar la confiabilidad de las mediciones y datos obtenidos. Esto implica asegurar que los equipos o instrumentos de medición permitan (Mendenhall et al., 2015):
 - Repetibilidad (precisión atribuida al error).
 - Exactitud (atribuida a la calibración del instrumento).
3. Los sistemas de medición son nuestra forma de percibir la realidad de los procesos u objetos de estudio. Si estos sistemas son incorrectos, las conclusiones serán inadecuadas para responder al problema (Melo et al., 2007).

Para ilustrar esto con un ejemplo práctico, consideremos el estudio del desempeño de trabajadores en una línea de producción. Variables de respuesta potenciales:

En seguridad ocupacional:

- Número de incidentes por turno.
- Nivel de fatiga (medido en escala estandarizada).
- Tiempo de uso efectivo del EPP.
- Nivel de exposición a riesgos específicos (Domínguez & Tostado, 2016).



En logística:

- Productos procesados por hora.
- Porcentaje de productos con defectos.
- Tiempo de ciclo completo.
- Eficiencia del proceso de empaque.

La selección de variables no debe hacerse arbitrariamente, sino basándose en el conocimiento práctico del proceso. Este conocimiento es vital para comprender:

- Factores que afectan el rendimiento.
- Diferencias entre trabajadores.
- Causas de variación en la calidad.
- Factores ergonómicos relevantes.

¿Cuál o cuáles podrían ser las variables de respuesta?

Recuerde que:



- Se debe poder medir.
- Si se puede medir se debe elegir los equipos y las unidades de medición apropiadas.
- Debe reflejar el problema, por ejemplo, si el problema fuera la temperatura, esta sería la respuesta, ya que se puede medir y además afecta el resultado o respuesta.

Primeramente y siguiendo los pasos de la indagación deberíamos usted y yo ser capaces de presuponer que la variable de respuesta es aquella a la que debemos hacer la medición; ¿qué podemos medir para obtener una respuesta? “Recuerde que esto depende de las actividades encargadas al trabajador” por ejemplo, podemos medir la cantidad de productos por hora que el trabajador



obtiene en su jornada diaria o la cantidad total en durante las horas de trabajo y luego distribuir ese producto, como se trata de “los trabajadores” debemos medir a todos los involucrados en el experimento.

Otra variable de respuesta podría ser sobre la cantidad de productos, medir la cantidad o el porcentaje de productos retornados a reproceso que presentaron algún defecto.

Pero elegir las variables de respuesta por elegir las es un problema sino se tiene conocimiento sobre el proceso, ese conocimiento práctico que es vital para poder vislumbrar, que hace que el trabajador no produzca más en el mismo tiempo o que hace que a pesar de poder obtener un producto este no consiga hacerlos todos perfectos e incurra en defectos y aún más porque existen diferencias en el rendimiento entre los trabajadores. Para resolver esto, el investigador, en este caso, usted debe recabar información que le sirva para definir aquellos factores que afectan a ese rendimiento, en nuestro ejemplo, podrían ser la velocidad de suministro de insumos o materias primas, la posición de trabajo, la ausencia de intervalos de descanso o el número reducido de estos, otros que quizás sean más fáciles de medir pueden ser la altura de las mesas de trabajo, el tamaño de las piezas de ensamble, la ausencia de infografías de guía, etc.



Recuerde que la selección de los factores que afectan el desempeño dependerá del objeto de estudio y su propia naturaleza o requerimientos.



Actividad de aprendizaje recomendada

Estimado estudiante, una vez analizados los contenidos en esta semana, le invito a realizar la infografía #1. Esta actividad se centra en revisar los pasos para el planteamiento del diseño de investigación.

[Introducción al diseño experimental](#)





Unidad 1. Introducción al diseño experimental

1.6. Tipos y selección de diseños experimentales

Considere usted en este apartado que existen muchos tipos de problemas o casuísticas que aparecen en la práctica (como en el ejemplo anterior acerca del rendimiento de los trabajadores), y por esa razón existen también muchos tipos de diseños experimentales, en este apartado podrá revisar algunas generalidades acerca de esos tipos de diseños.

Recuerde que la selección del diseño más apropiado para el experimento o investigación que posteriormente tenga puede depender de los siguientes aspectos:

- El objetivo.
- Los factores por estudiar.
- Los niveles que se han decidido probar en cada factor.
- Los efectos, es decir, la relación factor-respuesta.
- Los recursos, es decir, costos, tiempo y precisión requerida o deseada.

En la siguiente tabla se agregan los tipos de diseños de acuerdo con su aplicación:



Tabla 2

Tipos de diseño experimental en función de su aplicación, note que se separan grupos debido a la cantidad de factores que aparecen para comparar

Aplicación	Tipo de diseño
Para comparar dos o más tratamientos	Diseño completamente al azar
	Diseño en bloques completos al azar
	Diseños en cuadro latino y grecolatino
Para estudiar el efecto de varios factores sobre una o más variables de respuesta	Diseños factoriales, de distinto alcance: $2^k, 3^k$
	Diseños factoriales fraccionados 2^{k-p}
	Diseños anidados
	Diseños en parcelas divididas
Para la optimización de procesos en modelos de primer orden	Factoriales 2^k y 2^{k-p} Diseño de Plakett-Burman Diseño simplex
Para la optimización de procesos en modelos de segundo orden	Diseño de composición central Diseño de Box-Behnken Diseños factoriales 3^k y 3^{k-p}

Nota. Tomado de Análisis y diseño de experimentos (p. 11), por Gutiérrez, H. y de la Vara, R., 2012, MacGraw Hill.

Los diseños más utilizados en investigación práctica serán revisados en detalle en las unidades 3, 4 y 5.





Actividad de aprendizaje recomendada



Le invito a reforzar sus conocimientos, participando en la siguiente autoevaluación:



Autoevaluación 1

Elija la respuesta correcta, tomando en cuenta la unidad

1. ¿Qué es un experimento?
 - a. Manipulación de variables controlables que conlleva a estimar la probabilidad de que el error sea mínimo.
 - b. Manipulación de las condiciones ambientales sobre un sistema o proceso de tal manera que se explique la variación o efecto buscado por el investigador.
 - c. Alteración de las condiciones de un sistema o proceso con el objetivo de medir el efecto de ese cambio sobre el sistema o proceso.
 - d. Alteración de una o más variables con el objetivo de encontrar la causa previamente localizada sobre el sistema o proceso.
2. ¿Qué tipo de variable es aquella que sirve para conocer el efecto o los resultados de cada prueba experimental?
 - a. Variable de respuesta.
 - b. Variable experimental.
 - c. Variable independiente.
 - d. Variable aleatoria.
3. ¿Cómo se llaman aquellas variables que en un proceso se pueden fijar en un determinado nivel?
 - a. Ruido.
 - b. Factor no controlable.

- c. Error experimental.
- d. Factor controlable.

4. En un proceso de elaboración de botellas pet, se desea conocer si la temperatura de creación influye sobre la calidad de la botella, ¿cuál de los siguientes sería el factor controlable?

- a. Resistencia de la botella.
- b. Temperatura de creación.
- c. Calidad del pet.
- d. Número de botellas por minuto.

5. ¿Qué tipo de factor es la fecha de cumpleaños de un operador de control de calidad en el ensamblaje de autos?

- a. No controlable.
- b. Controlable.
- c. Aleatorio.
- d. De respuesta.

6. ¿Qué tipo de factor es la cantidad de colorante agregado a algodón para obtener fibras de color negro?

- a. No controlable.
- b. Aleatorio.
- c. Ruido.
- d. Controlable.

7. ¿Qué constituye la variable observada que no se puede explicar por los factores estudiados y que resulta del pequeño efecto de los factores no estudiados y el error del experimento?

- a. Error experimental.
- b. Incertidumbre.
- c. Error aleatorio.
- d. Euido.



8. ¿Cómo se llaman los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño de experimento?

- a. Niveles.
- b. Tratamientos.
- c. Datos.
- d. Medición.

9. Si en un experimento se estudia la influencia de la cantidad de un reactivo y el tiempo de reacción de este reactivo, ¿cómo se conoce la combinación de los valores obtenidos?

- a. Variable.
- b. Tratamiento.
- c. Nivel.
- d. Datos.

10. ¿Qué implica la repetición en un diseño experimental?

- a. Incluir homogeneidad.
- b. Incluir independencia en las muestras.
- c. Distinguir la variabilidad del error aleatorio.
- d. Nulificar de forma apropiada los factores de estudio.

[Ir al solucionario](#)



Resultado de aprendizaje 2:

Usa herramientas informáticas para el análisis de datos.

Por medio de este resultado de aprendizaje, usted desarrollará habilidades en el uso de herramientas informáticas para el análisis de datos.

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas

Recuerde revisar de manera paralela los contenidos con las actividades de aprendizaje recomendadas y actividades de aprendizaje evaluadas.



Semana 6

Unidad 2. Elementos de inferencia estadística

2.1. Experimentos comparativos simples

Son aquellos que se caracterizan por tener solo un factor de estudio con dos niveles o tratamientos, es decir, la respuesta depende de un único factor o solo ese estudiaremos.

El objetivo de estos experimentos es determinar si existe alguna diferencia entre las medias o las varianzas de los dos niveles o tratamientos.

En este momento es cuando empezaremos a adentrarnos en el análisis estadístico, por lo cual, revisaremos algunos conceptos estadísticos básicos.

Población: también llamada Universo, está representada por una colección o el total de los individuos, objetos, observación o medición que son de interés en algún estudio con miras a responder preguntas acerca de las características de esa misma población. Se puede clasificar a las poblaciones como finitas e infinitas. Una población finita es la que tiene un número pequeño de elementos es necesario para que al estudiar este tipo de poblaciones se considere su tamaño. Una población infinita es la que tiene un número grande de elementos,



tanto que al estudiar este tipo de poblaciones es necesario recurrir a muestras que, en la práctica, son pequeñas unidades representativas de dicha población.

Muestra: es la parte de la población o universo que ha sido seleccionada apropiadamente, de tal manera que conserva características importantes o claves de la misma población de la cual es extraída para fines de experimentación o análisis. Toda muestra debe ser representativa de la población de la cual proviene, conseguir esto podría ser una tarea compleja, ya que como se menciona usted debe asegurarse de que su muestra tenga las características clave de la población, esto se logra con muestreo que siempre debe ser al azar con el fin de evitar sesgos en la selección de la muestra.

Ejemplos prácticos:

En seguridad ocupacional:

- Población: todos los trabajadores expuestos a ruido en una planta industrial.
- Muestra: grupo seleccionado aleatoriamente para evaluar la efectividad de protectores auditivos.

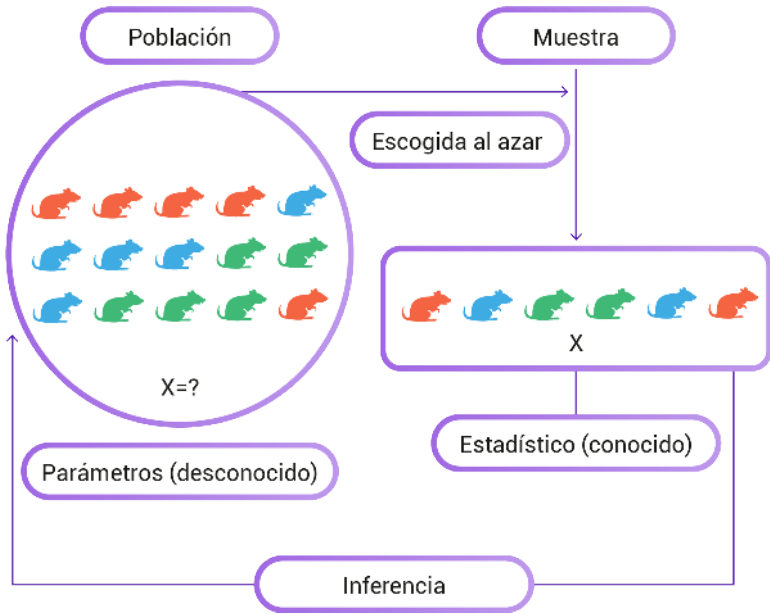
En logística:

- Población: todas las rutas de entrega posibles en una zona.
- Muestra: conjunto seleccionado de rutas para evaluar eficiencia (Gavilánez Luna, 2021).



Figura 3

Relación entre los conceptos de población, muestra, parámetro, estadístico e inferencia



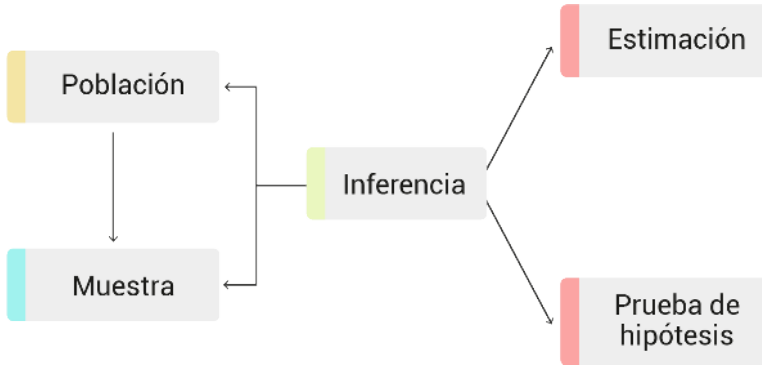
Nota. Tomado de Análisis y diseño de experimentos (p. 14) [Infografía] por Gutiérrez, H. y de la Vara, R., 2012, MacGraw Hill. CC BY 4.0. CC BY 4.0.

Inferencia estadística: permite hacer afirmaciones estadísticas acerca de la población basadas en la información contenida, observada y analizada a partir de una muestra. Esto implica extraer juicios o conclusiones a partir de supuestos.



Figura 4

Diagrama que describe las posibles transiciones del concepto de inferencia estadística del que hemos hablado antes y la convergencia hacia la estimación de distinto tipo y las pruebas de hipótesis

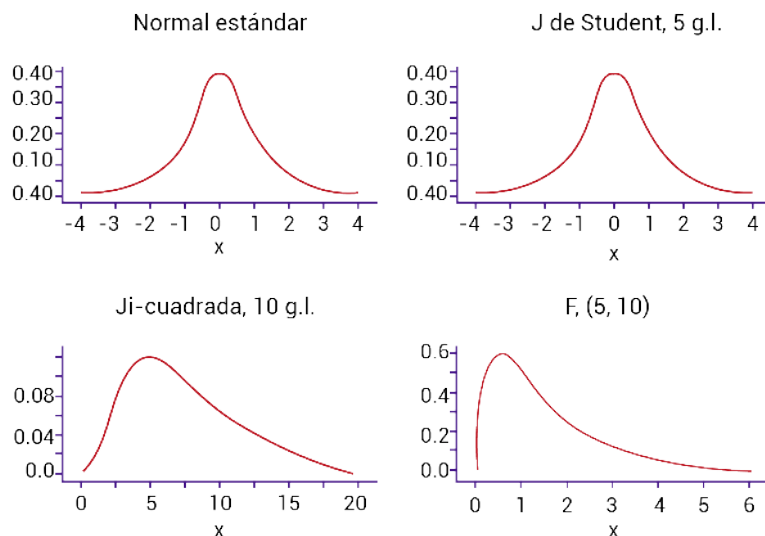


Nota. Tomado de Análisis y diseño de experimentos (p. 14) [Infografía] por Gutiérrez, H. y de la Vara, R., 2012, MacGraw Hill. CC BY 4.0.

- **Parámetro:** es una característica de una población que se representa con un valor numérico que describe a un conjunto de elementos o individuos de dicha población. Por ejemplo: son parámetros, la media muestral; la proporción; desviación estándar (), entre otros.
- **Estadístico:** es cualquier función de los datos resultantes de la muestra que no contiene parámetros desconocidos, es una cantidad obtenida a partir de dicha muestra y que sirve para inferir en los parámetros de la población a la cual pertenece la muestra.
- **Distribución de probabilidad:** relaciona el conjunto de valores posibles de una variable aleatoria X con la probabilidad asociada a cada valor. Las distribuciones más utilizadas en diseño experimental son (Domínguez & Tostado, 2016): *Normal*, *T de student*, *Ji- cuadrada* y *F*.

Figura 5

Gráficas de las distribuciones de mayor uso en grados de libertad y pruebas de hipótesis



Nota. Tomado de Análisis y diseño de experimentos (p. 16) [Infografía] por Gutiérrez, H. y de la Vara, R., 2012, MacGraw Hill. CC BY 4.0.

Estimación puntual: sirve para estimar los parámetros de la distribución de probabilidad de una variable a base de los datos de la muestra. Genera un valor numérico simple, utilizado para estimar el valor de un parámetro desconocido. Los tres parámetros que más se usan son: media (μ), varianza (σ^2) o desviación estándar (σ) y proporción de elementos que tienen cierta característica (p). Y los estadísticos (estimadores puntuales) más recomendados para estos tres parámetros son:

Media muestral $\hat{\mu} = \bar{x}$

Varianza muestral $\hat{\sigma}^2 = s^2$

Proporción muestral $\hat{p} = \frac{x}{n}$ (x es el número de elementos en la muestra de tamaño n que tienen la característica) ²²

2.2. Conceptos básicos de pruebas de hipótesis

El objetivo fundamental del diseño experimental es responder de manera confiable a las preguntas de investigación planteadas para emitir sugerencias y tomar decisiones basadas en evidencia (Douglas, 2003). Por ejemplo:

- Los trabajadores en una fábrica tienen el mismo rendimiento.
- Todos los trajes en promedio tienen los mismos resultados de efectividad.

¿Qué es una hipótesis de investigación?

Por definición, son declaraciones, afirmaciones o suposiciones que hace usted y cualquier investigador respecto del problema planteado. Estas declaraciones indican de qué está tratando de probar algo, es decir, son declaraciones teóricas, supuestas, no verificadas, pero probables, referentes a las variables escogidas para responder al problema.

Las hipótesis cumplen con las funciones de: direccionar el problema que se investiga, identificar variables que serán objeto de análisis y orientar el uso de métodos y técnicas para obtener información.

Las hipótesis pueden ser de varios tipos; de investigación, nula, alternativa y estadísticas



Recuerde que usted necesitará contrastar variables dependientes e independientes (para recordar revise la unidad 1)

La hipótesis debe tener poder explicativo; por ejemplo:

¿Qué relación hay entre la motivación propia de los trabajadores y el nivel de ausencia en la jornada laboral en los trabajadores que usarán los trajes de protección?

Hipótesis: a mayor motivación propia, hay menor nivel de ausencias en la jornada laboral en los trabajadores.



Específicamente, una **hipótesis estadística** es una declaración afirmativa sobre los parámetros de una población o un proceso, que se prueba con la información contenida en una muestra representativa de dicha población. Por ejemplo, la motivación que produce menos del 1 % de ausencias, se plantea de la siguiente manera:

$H_0 : p = 0,01$ (esta sería la hipótesis nula).

$H_A : p \neq 0.01$ (esta sería la hipótesis alterna o alternativa bilateral).

$H_A : p < 0.01$ (esta sería la hipótesis alterna o alternativa unilateral).

Las hipótesis alternativas bilaterales implican que la evidencia que sirva para rechazar la H_0 se obtendrá tanto si para p los valores son superiores o inferiores a 0.01. Y en las unilaterales solo quedaría la opción que se registre en el enunciado, en nuestro caso solo valores de p inferiores a 0,01. En todo caso, la H_0 es verdadera mientras no se demuestre su falsedad, para ello es necesario hacer pruebas.

Estadístico de prueba: se trata de una fórmula con la cual a partir de los datos y la hipótesis nula se calcula un valor de cierta magnitud que nos sirve para decidir si se acepta o se rechaza la H_0 . Al resultado del estadístico de prueba que conduce a rechazar la H_0 se le llama **región de rechazo** para la prueba, y los resultados donde no se rechaza la H_0 se lo llama **región de aceptación**.

Errores: como estamos incurriendo en decisiones probabilísticas al probar una hipótesis estadística, existe el riesgo de cometer un error, que pueden ser:

- **Error tipo I (α):** probabilidad de rechazar H_0 siendo verdadera.
- **Error tipo II (β):** probabilidad de aceptar H_0 siendo falsa.

La potencia de la prueba ($1 - \beta$) y el nivel de significancia (α) típicamente toman valores de 0,01 o 0,05 según el riesgo admisible en las conclusiones.





Actividades de aprendizaje recomendadas



Le invito a reforzar sus conocimientos, participando en las siguientes actividades:

1. Estimado estudiante, elabore un cuadro sinóptico de los elementos de inferencia estadística revisados hasta este punto, esto le ayudará a prepararse para superar sin dificultades la evaluación que en pocos días deberá rendir.

Nota: por favor, complete la actividad en un cuaderno o documento Word.

2. Estimado estudiante, para evaluar los aprendizajes adquiridos sobre esta temática, le invito a desarrollar la autoevaluación que a continuación se presenta.



Autoevaluación 2

Selecciona la respuesta correcta:

1. ¿Qué caracteriza a un experimento comparativo simple?
 - a. Estudia múltiples factores con varios niveles.
 - b. Se enfoca en un único factor con dos niveles o tratamientos.
 - c. Evalúa muestras de diferentes poblaciones simultáneamente.
 - d. No requiere análisis estadístico.
2. ¿Qué tipo de población requiere muestras para su análisis?
 - a. Finita.
 - b. Infinita.
 - c. Completa.
 - d. Reducida.

3. ¿Qué característica debe tener una muestra para ser adecuada?

- a. Ser de tamaño pequeño.
- b. Tener sesgos controlados.
- c. Representar las características clave de la población.
- d. Estar formada únicamente por los elementos más relevantes.

4. ¿Cuál de las siguientes es un ejemplo de población en seguridad ocupacional?

- a. Todos los trabajadores en una planta industrial.
- b. Un grupo seleccionado de trabajadores evaluados.
- c. La efectividad de protectores auditivos.
- d. Las mediciones de ruido en un ambiente laboral.

5. ¿Qué es un parámetro?

- a. Un estadístico que describe una muestra.
- b. Un valor numérico que describe una población.
- c. Una afirmación no verificada sobre una población.
- d. Una distribución de probabilidad asociada a una muestra.

6. ¿Qué distingue a una hipótesis alternativa unilateral?

- a. Es una afirmación sin base estadística.
- b. Rechaza la hipótesis nula solo si el valor es superior al parámetro planteado.
- c. Considera únicamente valores mayores o menores que el parámetro planteado.
- d. Se enfoca en dos direcciones simultáneamente.

7. ¿Qué indica el error tipo I (α)?

- a. La probabilidad de aceptar H_0 siendo verdadera.
- b. La probabilidad de rechazar H_0 siendo verdadera.
- c. La probabilidad de aceptar H_0 siendo falsa.
- d. La probabilidad de cometer un error en cualquier prueba.



8. ¿Qué distribuciones de probabilidad son comunes en diseño experimental?

- a. Normal, T de Student, Ji-cuadrada y F.
- b. Binomial, Poisson, Exponencial y F.
- c. Normal, Logarítmica, Poisson y T de Student.
- d. Ji-cuadrada, Gamma, Log-normal y Exponencial.

9. ¿Qué describe la estimación puntual?

- a. Un intervalo probable para un parámetro.
- b. Un valor único que estima un parámetro desconocido.
- c. La relación entre variables en una población.
- d. El rango de valores posibles de una distribución.

10. ¿Cuál es el objetivo principal de las pruebas de hipótesis?

- a. Probar todas las hipótesis planteadas.
- b. Identificar las variables más significativas.
- c. Responder preguntas de investigación con evidencia estadística.
- d. Asegurar que las muestras sean representativas.

[Ir al solucionario](#)



Resultado de aprendizaje 3:

Comprende que es un ANOVA

Por medio de este resultado de aprendizaje, usted desarrollará habilidades para comprender que es un análisis de la varianza o ANOVA.

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas

Recuerde revisar de manera paralela los contenidos con las actividades de aprendizaje recomendadas y actividades de aprendizaje evaluadas.



Semana 7

Unidad 3. Experimentos con un solo factor

Estos diseños experimentales se utilizan cuando el objetivo es comparar más de dos tratamientos en situaciones donde las declaraciones de partida involucran comparaciones específicas (Douglas, 2003).

La hipótesis estadística sería:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$$

$$H_A : \mu_i \neq \mu_j$$



Observación: para este momento estoy seguro de que usted tiene las habilidades para entender estos planteamientos; por favor compártalo en el chat de tutorías y consultas.

3.1. Análisis de varianza de un factor – ANOVA

Ahora abordaremos el Análisis de Variancia – ANOVA, denominado así por su acrónimo en inglés - Analysis of variance -. Aunque quizás usted ya ha oído de este análisis, le recuerdo que el ANOVA tiene el objetivo de comparar los



distintos niveles de los factores para establecer diferencias significativas en la variable respuesta. Se basa en la descomposición de la variación total de los datos respecto de la media de todos los datos (dentro de las muestras y entre las muestras), partiendo del supuesto de que H_0 (las medias de los grupos son iguales; $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$) es verdadera.

Los supuestos del ANOVA son:

- La variable de respuesta es continua.
- La variable independiente está formada por tres o más grupos categóricos e independientes.
- La variable dependiente tiene una distribución normal-supuesto de normalidad.
- Las muestras son independientes-supuesto de independencia.
- Los grupos tienen igual varianza-supuesto de homogeneidad. Antes de correr un ANOVA es necesario tomar algunas decisiones: elegir el nivel alfa: α (significancia del 5 %).

Se rechaza H_0 : El $p\text{-valor} < \alpha$

Es decir, hay al menos dos medias grupales que son diferentes entre sí.

Se acepta H_0 : El $p\text{-valor} > \alpha$

Es decir, no existen diferencias significativas entre los grupos evaluados.



Nota: recordar que la prueba ANOVA no nos dice nada acerca de qué grupos específicos son diferentes.

Cuando usar ANOVA

El ANOVA compara los distintos niveles de los factores para establecer diferencias en la variable respuesta. Por ejemplo, usted podría estar estudiando los efectos del té en la pérdida de peso y formar tres grupos: el té verde, té negro, y sin té. [¿Qué es el Anova de una vía?](#)



Cuando se tiene un grupo de individuos, objetos o estados distribuidos aleatoriamente, pero los individuos se dividen en grupos **basados en un atributo que poseen**.

Por ejemplo, usted podría estar estudiando la fuerza de las piernas de las personas de acuerdo con el peso. Podría dividir a los participantes en categorías de peso (obesidad, sobrepeso y normal) y medir la fuerza de sus piernas en una máquina de peso. [¿Qué es el Anova de una vía?](#)

En el ANOVA de un factor, también llamado unifactorial o one way (en inglés), se intenta probar con una sola variable independiente, si las medias entre dos o más grupos son diferentes o iguales.

Por ejemplo: se quiere comparar el número de trabajadores con enfermedades coronarias entre grupos o clases sociales (alta, media y baja). Con el ANOVA se quiere comparar si el número de enfermos (enfermedad coronaria) está relacionado con la clase social (alta, media y baja).

3.2. Diseño completamente al azar.

Se utiliza para comparar dos o más tratamientos donde todas las corridas experimentales se realizan en orden aleatorio completo (Gavilánez Luna, 2021). Características principales:

- Las pruebas se corren al azar.
- Los efectos se reparten equitativamente entre tratamientos.
- Se requiere aleatorización completa del experimento.



Tabla 3
Disposición de los tratamientos en un diseño completamente al azar

Tratamientos				Tk
T ₁	T ₂	T ₃	...	T _k
Y ₁₁	Y ₂₁	Y ₃₁	...	Y _{k1}
Y ₁₂	Y ₂₂	Y ₃₂	...	Y _{k2}
Y ₁₃	Y ₂₃	Y ₃₃	...	Y _{k3}
Y _{1n1}	Y _{1n1}	Y _{1n1}	...	Y _{kn1}

Nota. Tomado de Análisis y diseño de experimentos (p. 54), por Gutiérrez, H. y de la Vara, R., 2012, MacGraw Hill.

Arreglo de los DCA

Para ilustrar mejor el concepto, consideremos el siguiente ejemplo adaptado a seguridad ocupacional:

Supongamos que se comparan cuatro métodos de capacitación en seguridad (A, B, C y D) sobre el tiempo de respuesta ante emergencias (en minutos). Se aplican los cuatro métodos cuatro veces en orden completamente aleatorio, dando como resultado 16 pruebas.:



Tabla 4
*Arreglo DCA muestra los 16 tiempos de respuesta para los cuatro métodos de capacitación (tratamientos) en cuatro réplicas (4*4)*

Método de capacitación			
A	B	C	D
6	7	11	10
8	9	16	12
7	10	11	11
8	8	13	9

Nota. Tomado de Análisis y diseño de experimentos, por Gutiérrez, H. y de la Vara, R., 2012, MacGraw Hill.

Este diseño considera dos fuentes principales de variabilidad (Melo et al., 2007):

1. Tratamientos (métodos de capacitación).
2. Error aleatorio.

Para el análisis de este tipo de diseños, se deben considerar (Domínguez & Tostado, 2016):

- La aleatorización completa de las pruebas.
- La independencia de las observaciones.
- La homogeneidad de varianzas.
- La normalidad de los residuos.

Aplicaciones prácticas:

- En seguridad ocupacional: comparar la efectividad de diferentes protocolos de seguridad.
- En logística: evaluar métodos alternativos de ruteo.





Actividad de aprendizaje recomendada

Le invito a reforzar sus conocimientos, participando en la siguiente actividad:

Le sugiero que haga un mapa conceptual de todos los temas revisados hasta el momento y tenerlo a mano para prepararse para la evaluación presencial del primer bimestre.

Nota: por favor, complete las actividades en un cuaderno o documento Word.



Resultados de aprendizaje 1 a 3:

- Comprende cuando usar cada diseño experimental.
- Usa herramientas informáticas para el análisis de datos.
- Comprende que es un ANOVA

Por medio de estos resultados de aprendizaje, usted desarrollará habilidades para reconocer cuándo usar cada tipo de diseño experimental, así como las herramientas informáticas necesarias para el análisis de datos.

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas



Semana 8

Actividades finales del bimestre

Apreciado estudiante, hemos llegado al final del primer bimestre, dedique esta semana a recordar y reforzar los temas revisados hasta ahora. Para ello, usted deberá analizar las unidades 1 a la 3, donde debe concentrarse en repasar los contenidos respecto de:

Unidad 1. Introducción al diseño experimental, tome en cuenta que en esta unidad hemos revisado conceptos o definiciones básicas, etapas del diseño experimental, uso de métodos estadísticos, pasos para el planteamiento de diseños de investigación, selección de variables, así como tipos y selección de diseños. Recuerde que esta parte debe, en la mayoría, interiorizarla o tenerla presente para que no tenga problemas para seleccionar variables y tipos de diseños.

Unidad 2. Inferencia estadística, aunque aquí también hemos revisado varios conceptos, las prácticas ya le han guiado a hacer análisis, hacer comparaciones y pruebas para experimentos simples y con un solo factor y saber los principios de las pruebas de hipótesis, espero que la formulación de las hipótesis ya no sea un problema para usted.



Unidad 3. Experimentos de un solo factor y ANOVA, los diseños completos al azar y el análisis de la varianza ya no serán un problema, recuerde tomar en cuenta que hasta este momento solo se aborda este tipo de análisis para diseños con un solo factor donde las fuentes de variabilidad son dos y los ANOVA serán de una vía o unilaterales.





Segundo bimestre

Resultado de aprendizaje 4:

Elige y aplica las pruebas de comparaciones múltiples.

Estimado estudiante, a partir de este momento daremos inicio al estudio de los contenidos correspondientes al segundo bimestre, para lo cual le recomiendo continuar con una alta motivación, interés y ánimo con la finalidad de alcanzar sus objetivos propuestos: adquirir conocimientos y aprobar esta asignatura con éxito.

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas

Recuerde revisar de manera paralela los contenidos con las actividades de aprendizaje recomendadas y actividades de aprendizaje evaluadas.



Semana 9

Unidad 3. Experimentos con un solo factor

3.3. Pruebas o comparaciones de rango múltiple

Cuando se rechaza la hipótesis nula en un ANOVA para experimentos con un solo factor, es necesario realizar un análisis más detallado para identificar cuáles tratamientos son diferentes. Existen tres alternativas principales para este análisis (Douglas, 2003):



Comparaciones **pareadas de las medias** de los tratamientos, usted seguramente las encontrará en otras fuentes como pruebas de igualdad entre todos los posibles pares de medias, para esto se han propuesto varios métodos, de los que revisaremos los más utilizados a continuación:

- **Método de diferencia mínima significativa**, también llamado, método LSD (least significant difference), se parte de la hipótesis:

$$H_0 = \mu_i = \mu_j; H_A = \mu_i \neq \mu_j$$

Para toda $i \neq j$ y k tratamientos se tienen en total $k(k-1)/2$ pares de medias

Por ejemplo:

- Con $k=8$ tratamientos: $8(8-1)/2 = 28$ pares de medias a comparar
 - El estadístico de prueba es la diferencia entre medias muestrales
- **Método de Tukey**, consiste en comparar las medias muestrales con un valor crítico dado por:

$$T_\alpha = q_\alpha (K, N - K) \sqrt{CM_E/n_i}$$

Donde:

CM_E : es el cuadrado medio del error.

N : es el número de observaciones por tratamiento k , es el número de tratamientos.

$N-k$: son los grados de libertad para el error.

α : es el nivel de significancia (elegido con anticipación).

$q_\alpha(k, N-k)$: porcentuales de la distribución T de Student (Domínguez & Tostado, 2016).

Al final se declaran diferencias significativas a los pares cuyo valor sea mayor a T_α





Nota: A diferencia del método LSD, Tukey trabaja con un error muy cercano al que se prefija por el investigador.

- **Método Duncan:** en este método, si las muestras son de igual tamaño, los promedios se acomodan en orden ascendente y el error estándar se estima con $S_{Y_{io}} = \sqrt{CM_E/n}$

Los resultados de esta prueba se comparan en la tabla de rangos de significancia de Duncan.

Las otras dos alternativas son:

- **Comparaciones de tratamientos con un control**, tratamiento de control hace referencia a un tratamiento estándar de referencia con el que se comparan los otros tratamientos, también llamado blanco, porque es al que no se hará manipulación alguna; por ejemplo, si se quiere probar la eficacia de una dieta, una de las dietas será la que regularmente se ingiere, es decir, sin manipulación en la composición.
- **Comparaciones por contraste**, el contraste, en este caso resulta de la combinación lineal de las medias en la población, tomando en cuenta que la suma de sus coeficientes es igual a cero.

Aplicaciones prácticas:

En seguridad ocupacional:

- Comparar diferentes tipos de protección auditiva.
- Evaluar métodos de entrenamiento en seguridad.
- Analizar la efectividad de señalización.

En logística:

- Comparar sistemas de almacenamiento.
- Evaluar métodos de picking.
- Analizar la eficiencia de rutas de distribución.



3.4. Verificación de los supuestos del modelo

Recuerde que para todos los casos, en inferencia estadística, las presunciones que uno haga se basan en supuestos. Para cualquier ANOVA, la validez de los resultados depende del cumplimiento de tres supuestos fundamentales (Douglas, 2003):

- Normalidad.
- Varianza homogénea.
- Independencia.

Lo común es analizar los residuos, que son generados por la diferencia entre la respuesta observada y la predicha (por el mismo modelo) en cada prueba experimental, se pueden ver como una muestra aleatoria de distribución normal, con media cero y varianza constante.

Los tres supuestos se pueden probar de manera gráfica y de manera analítica, en nuestro caso, haremos mención de las formas más convenientes de verificación de los supuestos.

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks

En este supuesto, usted debe partir de la idea de verificar si un conjunto de datos ha sido generado por un proceso normal, entendiéndose como proceso normal a su distribución normal. Suponga usted que a partir de un conjunto de datos de distribución desconocida $F(x)$; con x_1, x_2, \dots, x_n se plantea las siguientes hipótesis estadísticas:

$H_0: F_x$ es normal (Los datos proceden de una distribución normal).

$H_A: F_x$ no es normal (Los datos no proceden de una distribución normal).

Procedimiento:

- Lo primero que hay que hacer es ordenar los datos de menor a mayor.



- Segundo, con la ayuda de una tabla de valores para la prueba, de Shapiro-Wilks se obtienen los coeficientes.
- Tercero, hay que calcular el estadístico W, puede usted utilizar la fórmula.

$$W = \frac{1}{(n-1)S^2} \left[\sum_{i=1}^k a_i (X_{(n-i+1)} - X_i) \right]^2$$

Donde:

- a_i son los coeficientes tabulados.
- x_i son los datos ordenados.

Si el resultado del estadístico W es un valor mayor que el crítico seleccionado en la tabla, se rechaza la normalidad.

Varianza homogénea

Tome en cuenta que este supuesto debería cumplirse si todos los tratamientos tienen la misma varianza. Este supuesto es fácil de observar en los análisis gráficos de los valores predichos versus los residuos, se grafica en el eje horizontal los residuos. Si la gráfica de un conjunto de puntos se muestra de manera aleatoria describiendo una franja horizontal, es decir, sin ningún patrón claro, podemos decir que se cumple el supuesto de varianza constante, pero si aparece un patrón claro como un embudo, entonces es probable que el supuesto no se cumpla.

Se pueden usar otros gráficos para estar seguros de las decisiones tomadas, pero en general hay que intentar ver en qué forma están afectadas las conclusiones, por ejemplo, si usted observa que el mejor tratamiento tiene la menor dispersión, no habría razón para cambiar la decisión de que ese tratamiento es el correcto, y pensar si es de interés investigar las otras diferencias de varianza. Por el contrario, si el tratamiento con la varianza más grande (mayor dispersión) no debería usted mantenerlo como el mejor, en cuyo caso hay que replantear no solo la decisión sino también el análisis. Si esto ocurre, puede ser que usted necesite hacer **transformaciones** para estabilizar la varianza, estas transformaciones se hacen a los datos de tal



forma que se disminuyan las diferencias. Las transformaciones más comunes son; logaritmo y raíz cuadrada, esto implica sacar el logaritmo o la raíz cuadrada a sus datos y luego volver a hacer los análisis, afortunadamente usted puede hacer esto de forma automática utilizando el lenguaje R o cualquier otro software estadístico e inclusive utilizando Excel de Microsoft Office o similares. La forma analítica para hacer la prueba de varianza constante más conocida es la **prueba de Barlett**.

Independencia

De igual manera, este supuesto puede verificarse de manera gráfica, comparando el orden del dato contra el residuo que le corresponde, en el eje horizontal el orden de corrida (variable) y en el eje vertical los residuos.

Si al graficar se detecta claramente un patrón no aleatorio, es evidencia de que los errores están correlacionados (recuerda que esto lo llamamos antes, pseudoréplica e implica ausencia de independencia) y no se cumple el supuesto de independencia. En cambio, si el comportamiento de los puntos es aleatorio, si se cumple el supuesto.

Si no se cumple este supuesto, usted debe suponer que existe deficiencia en la planeación y ejecución del experimento, no se aleatorizaron correctamente o que aparecieron factores (no controlados) que afectaron la respuesta. También puede usted utilizar la prueba de Durbin-Watson como parte de la verificación analítica, con la limitación de que esta no logra detectar otros patrones de correlación entre los residuos que son descriptores de que no se cumple el proceso, en cuyo caso es restrictiva.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Continuemos con el aprendizaje mediante la revisión de las siguientes actividades:

1. Revise la infografía, esta actividad se centra en revisar algunos conceptos abordados en la unidad 3.



Pruebas o comparaciones de rango múltiple

2. Resolver la autoevaluación 3.



Autoevaluación 3

Elija la respuesta correcta, tomando en cuenta las unidades 2 y 3:

1. ¿Qué es inferencia estadística?
 - a. Afirmaciones estadísticas acerca de la población basada en la información colectada y analizada de la misma población.
 - b. Afirmaciones estadísticas acerca de la población basada en la información contenida de la muestra.
 - c. Afirmaciones estadísticas acerca de la muestra.
 - d. La que posee o incluye un número grande de elementos y que se analizan en forma de hipótesis.
2. ¿Cómo se denomina aquella cantidad que se obtiene a partir de los datos de una muestra y que ayuda a resumir las características de la misma muestra?
 - a. Población.
 - b. Probabilidad.
 - c. Distribución.
 - d. Estadístico.
3. ¿Qué define una parte de una población, seleccionada apropiadamente y que conserva los aspectos clave de la población?
 - a. Muestra.
 - b. Factor.
 - c. Parámetro.
 - d. Estadístico.
4. ¿Qué es un estimador puntual?
 - a. Estadístico que estima un valor específico de un parámetro.



- b. Valores entre los que se estima está el valor de un parámetro poblacional.
 - c. Característica que mediante su valor numérico describe a un conjunto de elementos.
 - d. Una parte de la población seleccionada porque conserva características claves.
5. Qué define: “declaración realizada por un investigador cuando este especula acerca de un resultado final de una investigación o experimento”?
- a. Hipótesis estadística.
 - b. Pregunta de investigación.
 - c. Tipo de diseño experimental.
 - d. Hipótesis de investigación.
6. ¿Cómo se denomina aquella fórmula con la que a partir de los datos de una hipótesis nula se calcula un número cuya magnitud permite discernir si se rechaza o no dicha hipótesis?
- a. Estadístico de inferencia.
 - b. Estadístico de prueba.
 - c. Intervalo de confianza.
 - d. Grados de libertad.
7. ¿Cuál de los siguientes es un experimento con un solo factor?
- a. Diseño multifactorial.
 - b. Diseño en cuadro latino.
 - c. Diseño grecolatino.
 - d. Diseño completamente al azar.
8. ¿A qué hace referencia el análisis que separa la variación total en las partes con las que influye cada fuente de variación en un experimento?
- a. Notación de puntos.
 - b. Análisis de varianza.



- c. Pruebas de rango múltiples.
- d. Diferencia mínima significativa.

9. ¿Cuál es la hipótesis en un análisis de varianza (ANOVA) en un diseño completamente al azar?

- a. Igualdad de los tratamientos respecto de la media de la respectiva variable de respuesta.
- b. Diferencias de los tratamientos respecto de la media de la respectiva variable de respuesta.
- c. No hay diferencias entre el tratamiento de control y los tratamientos usados respecto de las medias de cada tratamiento.
- d. Hay diferencias entre el tratamiento de control y los tratamientos usados respecto de las medias de cada tratamiento.

10. De acuerdo con el arreglo de los diseños completamente al azar; si lo que se quiere es comparar las cuatro diferentes dietas en la reducción de enfermedades coronarias y se hacen ocho repeticiones, ¿cuántas observaciones de respuesta al azar se tendrían?

- a. 24.
- b. 62.
- c. 32.
- d. 16.

[Ir al solucionario](#)



Resultado de aprendizaje 5:

Aplica los diseños experimentales e interpreta sus resultados.

Por medio de este resultado de aprendizaje, usted desarrollará habilidades para aplicar los diseños experimentales e interpretar los resultados.

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas

Recuerde revisar de manera paralela los contenidos con las actividades de aprendizaje recomendadas y actividades de aprendizaje evaluadas.



Semana 10

Unidad 4. Diseño en bloques

Este tipo de diseños son considerados los más completos, se utilizan si se quiere comparar tratamientos seleccionados o estudiar el efecto de un factor seleccionado. Para empezar a estudiar los diseños de bloque, revisemos el concepto de factor de bloque que utilizaremos más adelante.

Factor de bloque: son variables adicionales al factor de interés que se agregan no para analizar su propio efecto, sino para mejorar la percepción del factor de interés. Ejemplo:

- **En seguridad:** utilizar diferentes turnos de trabajo como bloques al evaluar equipos de protección.
- **En logística:** usar diferentes conductores como bloques al evaluar rutas de distribución.



4.1. Diseño en bloques aleatorizados

Usted también los puede encontrar en la literatura pertinente como diseños en bloques completamente al azar (DBCA). Se aplican cuando (Domínguez & Tostado, 2016):

- Se comparan ciertos tratamientos.
- Se estudia el efecto de un factor específico.
- Se busca que las diferencias se deban principalmente al factor de interés.

Características principales:

- Se prueban todos los tratamientos en cada bloque.
- La aleatorización se realiza dentro de cada bloque.
- No se puede aleatorizar el total cuando hay factores como "día".

Modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \varepsilon_{ij}; \left\{ \begin{matrix} i=1,2,\dots,k \\ j=1,2,\dots,b \end{matrix} \right\}$$

Y_{ij} : medición que corresponde al tratamiento i y al bloque j

μ : media poblacional

τ_i : efecto del tratamiento i

γ_j : efecto del tratamiento j ε_{ij} : error aleatorio

ε_{ij} : error aleatorio

Hipótesis: la hipótesis típica plantea que la respuesta media poblacional es la misma para los k tratamientos (Douglas, 2003).

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_k = \mu$$

H_A : Al menos una media es diferente



ANOVA: a partir de la H_0 planteada se corre un ANOVA con dos criterios de clasificación, ya que existen dos fuentes de variación y el error aleatorio, este análisis lo puede realizar usando el lenguaje R o cualquier software de estadística. Si desea hacerlo manualmente, le recomiendo revisar el capítulo correspondiente a Diseños de bloque completamente al azar del texto de Gutiérrez et al., 2012, Análisis y Diseño de Experimentos.

Fuentes de variación:

- Factor de tratamiento.
- Factor de bloque.
- Error aleatorio.

4.2. Diseño en bloques incompletos balanceados

Se caracterizan porque en este tipo de diseños no se prueban todos los tratamientos en cada bloque. Se implementan por dos razones:

Lograr mayor precisión en un experimento; cuando al probar todos los tratamientos en un bloque, esto causa inhomogeneidad en dicho bloque, aumentando la variabilidad y, por tanto, afecta la comparación de los tratamientos.

Cuando hay una restricción física: 1) Cuando en un bloque no caben todos los tratamientos; o, 2) Cuando hay limitaciones de espacio o recurso.

El DBIB cumple con tres condiciones, considerando tratamientos y bloques, en cada bloque se prueban $t < k$

1. Cada tratamiento debe ocurrir una vez en cada bloque.
2. Cada tratamiento ocurre exactamente en r bloques
3. Cada par de tratamientos ocurre juntos en λ bloques.



Modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

μ : media general

τ_i : efecto del tratamiento i

β_j : efecto del bloque j

ε_{ij} : error aleatorio



Actividad de aprendizaje recomendada

A continuación, le invitamos a desarrollar la siguiente actividad:

Resuelva el juego de seleccionar, esta actividad se centra en revisar algunos conceptos abordados en la unidad 4.

[Diseño de bloques \(conceptos básicos\)](#)

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas



Semana 11

Unidad 4. Diseño en bloques

4.3. Diseño en bloques de cuadro latino

Se controlan dos factores de bloque y se estudia un factor de tratamiento, los tres factores con la misma cantidad de niveles. Se llama así, porque los tratamientos se representan con letras latinas y se distribuyen de forma adecuada en un cuadro.



Estructura del diseño:

- Columnas: factor de bloque I
- Renglones: factor de bloque II
- Error aleatorio
- Cada letra debe aparecer solo una vez en cada renglón y columna.

La selección y aleatorización del cuadro latino se hace de la siguiente manera:

1. Primer paso

- Colocar letras latinas en orden alfabético en primera columna.
- Colocar letras latinas en orden alfabético en primer renglón.

2. Completar el cuadro

- Evitar repetición de letras en renglones.
- Evitar la repetición de letras en columnas.

Figura 6

Secuencia de arreglos para un diseño en cuadro latino estándar, primero se arreglan columnas y renglones en orden alfabético y luego se completa evitando que se repitan las letras latinas

A	B	C	D
B			
C			
D			

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

Nota. Tomado de Análisis y diseño de experimentos (p. 95) [Infografía] por Gutiérrez, H. y de la Vara, R., 2012, MacGraw Hill. CC BY 4.0.

Modelo estadístico

$$Y_{ijl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \delta_l + \varepsilon_{ijl}$$

Y_{ijl} : observaciones del tratamiento, en el nivel del factor renglón y en el nivel del factor columna.

μ : media general

τ_i : efecto del tratamiento i

γ_j : efecto del renglón j

δ_l : efecto de la columna l

ε_{ijl} : error atribuible (dos factores de bloque, un factor de tratamientos y el error aleatorio)

Fuentes de variabilidad

Tratamientos

Factor de bloque I (columnas) Factor de bloque II (renglones) Error aleatorio

En el ANOVA se prueban los efectos del tratamiento del factor renglón y del factor columna.

4.4. Diseño en bloques grecolatino

Se controlan tres factores además del factor de tratamiento. Se llama así porque los cuatro factores se prueban en igual cantidad de niveles y se usan letras latinas para los tratamientos y letras griegas para nombrar los niveles. Cada letra debe aparecer solo una vez en cada renglón y en cada columna y cada par de letras debe aparecer solo una vez en todo el cuadro.

Modelo estadístico:

$$Y_{ijlm} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \delta_l + \varphi_m + \varepsilon_{ijl}$$



Y_{ijl} : observación o respuesta que se encuentra en el tratamiento i (i -ésima letra latina), en el renglón j , en la columna l en la m -ésima letra griega;

τ_i : es el efecto del tratamiento i y γ_j es el efecto del renglón j

δ_l : representa el efecto de la columna l

ϕ_m : representa el efecto de la m -ésima letra griega (niveles del tercer factor de bloque).

ϵ_{ijlm} : error aleatorio atribuible a la medición Y_{ijlm}

No confundir las letras griegas del modelo (efectos) con las del diseño (niveles del tercer factor de bloque).

En el ANOVA se prueban las hipótesis de igualdad de letras latinas (tratamientos), de renglones, de columnas y de letras griegas.

El arreglo para este tipo de diseño se podría ilustrar de la siguiente manera:

Tabla 5
Muestra el arreglo de columnas y renglones, letras latinas para los tratamientos y letras griegas para los niveles

Columnas					
2	3	4			
Renglones	1	A α	B β	C γ	D δ
	2	B δ	A γ	D β	C α
	3	C β	D α	A δ	B γ
	4	D γ	C δ	B α	A β

Nota. Tomado de Análisis y diseño de experimentos (p. 97), por Gutiérrez, H. y de la Vara, R., 2012, MacGraw Hill.



Aplicaciones prácticas

En Seguridad Ocupacional:

- Evaluación de EPP considerando:
 - Tipos de equipo (letras latinas).
 - Turnos de trabajo (renglones).
 - Áreas de trabajo (columnas).
 - Niveles de riesgo (letras griegas).

En logística:

- Análisis de sistemas de distribución:
 - Rutas (letras latinas).
 - Horarios (renglones).
 - Tipos de vehículos (columnas).
 - Zonas de entrega (letras griegas).



Actividades de aprendizaje recomendadas

Continuemos con el aprendizaje mediante su participación en las actividades que se describen a continuación:

1. En este momento es aconsejable que usted haga un mapa mental de los conceptos y tipos de diseños en bloque revisados hasta este momento. Puede usted empezar a separar los conceptos relacionados, inclusive si debe retomarlos del primer bimestre, por ejemplo, ¿qué es un factor?, ¿qué es una variable?, ¿qué es la variable de respuesta? Esto debido a que es indispensable que en este momento usted ya pueda reconocer tanto las fuentes de variabilidad contenidas en los datos como poder organizar de manera apropiada un diseño experimental; para ello también es recomendable que a este mapa



mental usted agregue una conexión de ejemplos intentando asociar a los conceptos implicados.

Nota: por favor, complete las actividades en un cuaderno o documento Word.

2. Realice la siguiente autoevaluación.



Autoevaluación 4

Elija la respuesta correcta, tomando en cuenta las unidades 3 y 4:

1. ¿Cuál de los siguientes es un experimento con un solo factor?
 - a. Diseño multifactorial.
 - b. Diseño completamente al azar.
 - c. Diseño en cuadro latino.
 - d. Diseño grecolatino.

2. ¿Con qué prueba se verifica el supuesto de normalidad en un ANOVA?
 - a. Método de Tukey.
 - b. Prueba de Durbin-Watson.
 - c. Prueba de Shapiro-Wilks.
 - d. Prueba de Barlett.

3. ¿A qué hace referencia el análisis que separa la variación total en las partes con las que influye cada fuente de variación en un experimento?
 - a. Análisis de varianza.
 - b. Notación de puntos.
 - c. Pruebas de rango múltiples.
 - d. Diferencia mínima significativa.

4. ¿Con qué prueba se puede verificar el supuesto de Independencia en un ANOVA?
 - a. Método de Tukey.



- b. Prueba de Durbin-Watson.
- c. Prueba de Shapiro-Wilks.
- d. Prueba de Barlett

5. ¿Cuál es la hipótesis en un análisis de varianza (ANOVA) en un diseño completamente al azar?

- a. Diferencias de los tratamientos respecto de la media de la respectiva variable de respuesta.
- b. No hay diferencias entre el tratamiento de control y los tratamientos usados respecto de las medias de cada tratamiento.
- c. Hay diferencias entre el tratamiento de control y los tratamientos usados respecto de las medias de cada tratamiento.
- d. Igualdad de los tratamientos respecto de la media de la respectiva variable de respuesta.

6. ¿Cuál de los siguientes métodos se debe utilizar para hacer comparaciones o pruebas de rango múltiples?

- a. ANOVA.
- b. Diferencia mínima significativa (LSD).
- c. P-value.
- d. Medidas de tendencia central.

7. Dentro de un diseño de bloque, ¿cómo se conoce a las variables adicionales al factor de interés que se incorporan de manera explícita en un experimento comparativo?

- a. Factor de bloque.
- b. Fuente de variabilidad.
- c. Efecto de diseño.
- d. Efecto de factor.

8. ¿Cuáles son las fuentes de variación en un DBCA?

- a. Factor de tratamiento, factor de bloque y varianza.
- b. Varianza, error estándar y factor de bloque.



- c. Grados de libertad, varianza y factor de tratamiento.
- d. Factor de tratamiento, factor de bloque y error aleatorio.

9. ¿Qué características tiene un diseño de cuadrado latino?

- a. Se controlan dos factores de bloque, uno de tratamientos con la misma cantidad de niveles.
- b. Se controlan dos factores de bloque, uno de tratamientos con la distinta cantidad de niveles.
- c. Se controlan un factor de bloque y uno de tratamientos con la misma cantidad de niveles.
- d. Se controlan dos factores de bloque con la misma cantidad de niveles.

10. ¿Qué diferencia el diseño de cuadro latino del cuadro grecolatino?

- a. El número de factores.
- b. El factor de bloque.
- c. Los niveles.
- d. Las fuentes de variabilidad.

[Ir al solucionario](#)





Unidad 5. Diseños factoriales



5.1. Conceptos básicos



Diseño Factorial - DF: se define como un arreglo experimental utilizado para estudiar el efecto de varios factores sobre una o más respuestas, teniendo el mismo interés sobre todos los factores (Douglas, 2003). Por ejemplo:

- Determinar combinaciones de niveles que optimicen el desempeño.
- Identificar factores críticos en un proceso.
- Encontrar condiciones operativas óptimas.



Para estudiar la manera en que influye cada factor, se necesita elegir por lo menos dos niveles de prueba para cada factor. La matriz de diseño se forma con el conjunto de tratamientos que se puedan formar con todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores.



- **Factor cualitativo:** los niveles toman valores discretos o nominales (máquinas, lotes, marcas, presencia, ausencia; 1,0; sí o no).
- **Factor cuantitativo:** los niveles toman valores continuos (cualquier valor dentro de un determinado intervalo). Los más comunes son; temperatura, velocidad, distancia, presión.
- **Arreglo factorial:** es cualquier conjunto de tratamientos o puntos experimentales que se puedan formar al considerar todas las posibilidades de combinación de los niveles de los factores.
- **Efecto de un factor:** es el cambio que se observa en la variable de respuesta a causa de un cambio de nivel en el factor al que se observa el efecto.
- **Efecto principal:** son los cambios en la media de la variable de respuesta dada por el efecto individual de cada factor estudiado, se puede obtener de la diferencia entre los promedios de las respuestas observadas en el nivel alto, menos el nivel bajo.

- **Efecto de interacción:** se da cuando en la variable de respuesta el efecto de un factor depende del nivel en el que está otro, por ejemplo, el factor A y el factor B interactúan si el efecto de A es bastante diferente en cada nivel en el que se encuentra B.

5.2. Ventajas de los diseños factoriales

Los diseños factoriales ofrecen múltiples beneficios (Douglas, 2003):

- Miden la influencia individual de los k factores.
- Identifican interacciones entre factores.
- Exploran zonas específicas del dominio experimental.
- Encuentran direcciones óptimas de mejora.

Eficiencia experimental (Melo et al., 2007):

- Forma económica de estudiar múltiples factores.
- Útil en etapas iniciales de investigación.
- Permite aumentar diseños para formar diseños compuestos.
- Facilita la combinación con diseños en bloques.

Supuestos: para garantizar la validez del diseño factorial, deben cumplirse tres supuestos básicos (Domínguez & Tostado, 2016):

- El factor es fijo.
- El diseño es completamente aleatorizado.
- Las suposiciones de normalidad se satisfacen.



Actividad de aprendizaje recomendada

Resuelva el juego de completar, esta actividad se centra en revisar algunos conceptos abordados en la unidad 5.

[Diseños Factoriales – conceptos básicos](#)





Unidad 5. Diseños factoriales

5.3. Diseños con dos factores

Estos diseños están destinados a evaluar dos factores simultáneamente. Ambos factores deben tener el mismo número de niveles para construir un diseño factorial balanceado (Melo et al., 2007). Los diseños más utilizados son:

Factorial 2^2 :

- Dos factores con dos niveles cada uno.
- Genera cuatro tratamientos en total.
- Permite estudiar efectos principales e interacción.

Factorial 3^2 :

- Dos factores con tres niveles cada uno.
- Genera nueve tratamientos en total.
- Permite estudiar efectos cuadráticos.

Factorial 3×2 :

- Un factor con tres niveles y otro con dos.
- Genera seis tratamientos en total.
- Útil cuando los factores tienen naturalmente diferentes niveles.

Importancia de la replicación

En estos diseños es fundamental la replicación (Douglas, 2003). Una réplica comprende una corrida completa del arreglo (todos los tratamientos). La replicación es necesaria porque:

- Proporciona una estimación del error experimental.



- Permite mayor precisión en la estimación de efectos.
- Aumenta la potencia de las pruebas estadísticas.
- Valida los supuestos del modelo.

Modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

μ : media general

α_i : efector del nivel correspondiente del factor A

β_j : efector del nivel correspondiente del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$: efecto de interacción en la combinación correspondiente

ε_{ijk} : error aleatorio



Recuerde que en este caso tendrá seis H_0 y el ANOVA correspondiente probará las cuatro fuentes de variación (incluida el error aleatorio) y que el caso de rechazar la H_0 se pueden probar comparaciones de medias con el fin de detectar cuáles medias causan las diferencias encontradas.

Aplicaciones prácticas detalladas:

En seguridad ocupacional: evaluación de protección auditiva:

- Factor A. Tipo de protector (tapones, orejeras).
- Factor B. Tiempo de uso (4 h, 8 h).
- Variable respuesta. Atenuación del ruido

En logística: optimización de almacenamiento:

- Factor A. Método de picking (manual, asistido, automatizado).
- Factor B. Densidad de almacenamiento (baja, media, alta).
- Variable respuesta. Tiempo de preparación de pedidos.



5.4. Diseños con tres factores

Este tipo de diseños se utiliza para investigar la influencia de tres factores sobre una o más variables de respuesta, cada uno con tres niveles. Entre los arreglos más empleados están los factoriales 2^3 , factorial 3^3 y factoriales mixtos con no más de cuatro niveles en dos de los factores. Estos diseños son particularmente útiles cuando se sospecha que existe interacción entre tres o más variables del proceso (Douglas, 2003).

Modelo estadístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

μ : media general.

α_i : efecto del nivel i -ésimo del factor A.

β_j : efecto del nivel j del factor B.

γ_k : efecto del nivel k del factor C.

$(\alpha\beta)_{ij}$, $(\alpha\gamma)_{ik}$, $(\beta\gamma)_{jk}$: representan los efectos de interacción dobles en los niveles respectivos.

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$: efecto de interacción triple en la combinación a punto. ijk l: son las repeticiones o réplicas del experimento.

ε_{ijkl} : Error aleatorio en la combinación $ijkl$

En un diseño factorial con tres factores, es posible plantear siete hipótesis nulas diferentes, correspondientes a:

1. Efecto principal del factor A.
2. Efecto principal del factor B.
3. Efecto principal del factor C.
4. Interacción entre factores A y B.



5. Interacción entre factores A y C.
6. Interacción entre factores B y C.
7. Interacción entre los tres factores (A, B y C).

El análisis de varianza (ANOVA) evaluará estas siete fuentes de variación, más el error aleatorio. Para cada una, se plantea una hipótesis nula específica:

1. H_0 : No hay efecto del factor A.
2. H_0 : No hay efecto del factor B.
3. H_0 : No hay efecto del factor C.
4. H_0 : No hay interacción entre A y B.
5. H_0 : No hay interacción entre A y C.
6. H_0 : No hay interacción entre B y C.
7. H_0 : No hay interacción entre A, B y C.

Para que las conclusiones sobre estas relaciones sean válidas estadísticamente, es necesario verificar tres supuestos fundamentales del ANOVA:

- **Normalidad:** los residuos siguen una distribución normal.
- **Homogeneidad de varianzas:** la variabilidad es constante en todos los tratamientos.
- **Independencia:** las observaciones son independientes entre sí (Mendenhall et al., 2015).



Actividades de aprendizaje recomendadas

A continuación, le invito a realizar las siguientes actividades:

1. Haga cuadros sinópticos de los conceptos implicados en los diseños factoriales. Podría usted empezar definiendo:
 - ¿Cuándo se debe proponer un diseño de tipo factorial?



2. Luego puede usted:

- Agregar los conceptos nuevos tales como: factor, tipos de factores, efectos y arreglo factorial, para que cada uno desprenda los tipos reconocidos en esta unidad.

3. Recuerde que hemos revisado diseños de dos y tres factores, por lo tanto, le sugiero:

- Haga un cuadro con dos ramas asociadas al concepto principal.

Nota: por favor, complete las actividades en un cuaderno o documento Word.

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas



Semana 14

Unidad 5. Diseños factoriales

5.5. Diseños con dos factores

Factorial 2^k : el término 2^k significa que se estudian k factores con 2 niveles de prueba en cada uno. Este diseño es particularmente útil cuando el número de factores a estudiar está entre dos y cinco. Las réplicas consistirán en $2 \times 2 = 4$ **tratamientos** (Douglas, 2003).

Características principales:

- Permite estudiar k factores con dos niveles cada uno.
- Genera 2^k tratamientos diferentes.
- Es eficiente para estudios de *screening* inicial o cribado.
- Permite identificar factores críticos del proceso (Melo et al., 2007).

Aplicaciones prácticas en seguridad ocupacional:



Evaluación de condiciones de trabajo:

- Factor 1. Iluminación (alta/baja).
- Factor 2. Ruido (presente/ausente).
- Factor 3. Ventilación (natural/artificial).
- Variable respuesta. Rendimiento del trabajador.

Análisis de EPP:

- Factor 1. Tipo de material (A/B).
- Factor 2. Ajuste (ajustado/holgado).
- Factor 3. Tiempo de uso (corto/largo).
- Variable respuesta. Nivel de protección.

5.6. Diseños con tres factores

Se utilizan cuando se quiere estudiar la influencia de tres factores (A, B y C) sobre una o más variables de respuesta, con el mismo número de niveles (tres; a, b y c) que se prueban en cada uno de los factores.

3^k significa k factores con 3 niveles de prueba en cada uno, entre los arreglos más comunes se encuentran: factorial 23.

Factorial 33. Factoriales mixtos (no más de cuatro niveles en dos de los factores).

Los **factoriales mixtos** se usan o se construyen cuando los factores estudiados no tienen el mismo número de niveles, por ejemplo $4 \times 3 \times 2$, es decir, se experimenta con tres factores, cuatro, tres y dos niveles para cada factor respectivamente.

Se aplican cuando: se tienen factores continuos y si interesa estudiar los efectos cuadráticos, bajo el supuesto que la respuesta no es lineal. Se tienen factores categóricos o discretos y, de forma natural, tiene tres niveles. Al igual que los arreglos 3^k . Pero en los factoriales mixtos se tiene un número distinto y limitado de niveles y se interesa estudiar todos los niveles.



Ejemplo 1. Evaluación de Protectores Auditivos.

Factorial 2^3 . (tres factores con dos niveles cada uno).

Factores y niveles:

- A. Tipo de protector (tapones/orejeras).
- B. Tiempo de uso (4h/8h).
- C. Nivel de ruido ambiental (85dB/95dB).

Total, de tratamientos: $2^3 = 8$ combinaciones diferentes

Tabla 6
Matriz del diseño

Tratamiento	Tipo Protector	Tiempo	Nivel Ruido	Combinación
1	Tapones	4h	85dB	(-, -, -)
2	Orejeras	4h	85dB	(+, -, -)
3	Tapones	8h	85dB	(-, +, -)
4	Orejeras	8h	85dB	(+, +, -)
5	Tapones	4h	95dB	(-, -, +)
6	Orejeras	4h	95dB	(+, -, +)
7	Tapones	8h	95dB	(-, +, +)
8	Orejeras	8h	95dB	(+, +, +)

Nota. Adaptado de *Análisis y diseño de experimentos* (p. 211), por H. Gutiérrez y R. de la Vara, 2012, MacGraw Hill.

Variable respuesta: Atenuación del ruido en dB





Unidad 5. Diseños factoriales

5.7. Diseño factorial general

Este diseño se extiende a situaciones con más de tres factores (A, B, C, ... K) y más de tres niveles (a, b, c, ...k). La letra k denota el último factor del conjunto a estudiar. Este diseño permite estudiar (Douglas, 2003):

- Efectos principales.
- Interacciones dobles.
- Interacciones triples.
- Interacciones de orden superior.

Por ejemplo, en un diseño factorial 2^5 :

- Efectos principales.
- 10 interacciones dobles.
- 10 interacciones triples.
- Interacciones cuádruples.
- 1 interacción quíntuple.

Total: 31 efectos posibles

En el ANOVA para el factorial mixto tiene la necesidad de implementar al menos dos réplicas, sin embargo, en un factorial completo casi nunca interesan todos los posibles efectos, y se aplica el principio de Pareto, que menciona que la mayoría de la variabilidad observada se debe a unos pocos de los efectos posibles.



5.8. Modelos de efectos aleatorios

Hasta ahora los ANOVA que se han mencionado se refieren a modelos de efectos fijos, es decir, todos los niveles de prueba en cada factor son todos los disponibles para ese factor y porque se estudian todos los niveles de interés en ese factor y se mencionan como factor fijo, por tanto, los ANOVA mencionados son de factor fijo y las conclusiones que se declaran solo son válidas para los niveles de prueba que se estudian en ese experimento.

En otro aspecto, cuando los niveles de prueba usados en un factor son una muestra aleatoria de la población de niveles posibles para ese factor, es mucho más apropiado usar un modelo efectos o **factores aleatorios**, aplicar este modelo implica la necesidad de considerar la incertidumbre asociada con la elección aleatorio de los niveles de prueba, por ejemplo, si usted quiere analizar la eficacia de una empresa productora de té, con una muestra de cinco trabajadores, pero el total de trabajadores es 100. En cuyo caso ya no tiene sentido preocuparse por el efecto de un factor elegido para un nivel de prueba, sino que ahora es más apropiado analizar la varianza con la que el factor aleatorio afecta a la varianza total del experimento y si la respuesta es significativa, a esto se lo llama **componentes de varianza**.

Ejemplo comparativo: estudio de fatiga laboral en una empresa manufacturera.

1. Diseño Factorial (efectos fijos)

Objetivo: evaluar cómo afectan específicamente tres factores controlados en la fatiga laboral.

Factores y niveles (todos predeterminados):

- A. Tipo de tarea (ensamblaje/empaquete).
- B. Duración del turno (8h/12h).
- C: Temperatura ambiente (20°C/25°C).



Características:

- Niveles seleccionados específicamente.
- Conclusiones válidas solo para estos niveles.
- Interés en los efectos específicos de cada nivel.
- Resultados directamente aplicables a estas condiciones específicas (Douglas, 2003).

2. Diseño de efectos aleatorios

Objetivo: entender la variabilidad general en la fatiga laboral considerando factores aleatorios.

Factores:

- A. Operadores (muestra aleatoria de 10 de un total de 50 operadores).
- B. Días de la semana (muestra aleatoria de 3 días de la semana laboral).
- C. Estaciones de trabajo (muestra aleatoria de 5 de 20 estaciones).

Características:

- Niveles seleccionados aleatoriamente de una población mayor.
- Conclusiones generalizables a toda la población de niveles.
- Interés en la variabilidad general del proceso.
- Resultados aplicables a cualquier combinación futura (Melo et al., 2007).

Diferencias clave en el análisis:

1. Diseño factorial:

- Estima efectos específicos de cada nivel.
- Prueba diferencias entre medias.
- Conclusiones directas sobre niveles estudiados.

2. Efectos aleatorios:

- Estima componentes de varianza.
- Evalúa la contribución a la variabilidad total.



- Conclusiones sobre la población de niveles.

En el ejemplo, el diseño factorial permitiría determinar específicamente qué combinación de tipo de tarea, duración y temperatura produce menor fatiga, mientras que el diseño de efectos aleatorios ayudaría a entender qué fuentes (operadores, días o estaciones) contribuyen más a la variabilidad en la fatiga laboral (Gavilánez Luna, 2021).



Actividades de aprendizaje recomendadas

Le invito a realizar las siguientes actividades:

1. Con miras a tener una idea más práctica acerca de los diseños factoriales. Revise el recurso: [Diseños factoriales](#) lea comprensivamente y analice las ventajas del diseño factorial presentados en dicho artículo. Recuerde usted anotar preguntas y comparar los contenidos con los expuestos en esta Guía Diseño Experimental (2020).
2. Resuelva la autoevaluación 5.



[Autoevaluación 5](#)

Escoja la respuesta correcta, tomando en cuenta la unidad 5:

1. ¿Qué es un factor cualitativo?
 - a. Variable que toma valores discretos o nominales.
 - b. Variable que toma valores continuos o numéricos.
 - c. Variable que forman un conjunto de tratamientos.
 - d. Cambio que se observa en la variable de respuesta.
2. ¿A qué se conoce como efecto del factor?
 - a. Cambios en la media de la variable de respuesta ocasionados por el error aleatorio.



- b. Cambio observable en la respuesta a causa del cambio de nivel en el factor.
- c. Cambio observable en la respuesta a causa del cambio del factor.
- d. Cambios en la media de la variable de respuesta a causa del cambio de nivel en el factor.

3. ¿Qué es el efecto principal?

- a. Cambio que se observa en la variable de respuesta a causa de un cambio de nivel en el factor.
- b. Cualquier conjunto de tratamientos o puntos experimentales que se puedan formar al considerar.
- c. Cambios en la media de la variable de respuesta dada por el efecto individual de cada factor estudiado.
- d. Se da cuando en la variable de respuesta el efecto de un factor depende del nivel en el que está otro.

4. ¿Qué es el efecto de interacción?

- a. Cambio que se observa en la variable de respuesta a causa de un cambio de nivel en el factor.
- b. Cualquier conjunto de tratamientos o puntos experimentales que se puedan formar al considerar.
- c. Cambios en la media de la variable de respuesta dada por el efecto individual de cada factor estudiado.
- d. Se da cuando en la variable de respuesta el efecto de un factor depende del nivel en el que está otro.

5. ¿Qué es un arreglo factorial?

- a. Cualquier conjunto de tratamientos o puntos experimentales que se puedan formar al considerar todas las posibilidades de combinación de los niveles de los factores.
- b. Cualquier conjunto de tratamientos destinados a evaluar dos factores sobre una variable de respuesta.



- c. Cualquier conjunto de datos que se puedan formar al considerar todas las posibilidades de combinación de los niveles en los tratamientos de un experimento.
 - d. Tipo de diseños que se usan para investigar la influencia de tres factores sobre una o más variables de respuesta.
6. En un diseño factorial, ¿cuántos niveles tiene el diseño con tres factores?
- a. Dos.
 - b. Tres.
 - c. Cuatro.
 - d. Cinco.
7. ¿Qué tipo de arreglo factorial tiene cuatro tratamientos?
- a. 2^2 .
 - b. 2^3 .
 - c. 3^2 .
 - d. 3^3 .
8. ¿Qué tipo de diseño se debe utilizar si se quiere estudiar la influencia de tres factores sobre una o más variables de respuesta?
- a. Factoriales mixtos.
 - b. Factoriales con dos factores.
 - c. Factoriales 2^k .
 - d. Factoriales con tres factores.
9. ¿Qué tipo de diseño factorial se debe usar cuando los factores estudiados no tienen el mismo número de niveles?
- a. Factorial mixto.
 - b. Factorial general.
 - c. Factorial con dos factores.
 - d. Factorial con tres factores.



10. Cuando los niveles de prueba usados en un factor son una muestra aleatoria de la población de niveles posibles para ese factor, ¿qué modelo de efectos se debe usar?

- a. De efectos fijos.
- b. Pruebas de supuestos.
- c. ANOVA.
- d. De efectos aleatorios.

[Ir al solucionario](#)



Resultado de aprendizaje 4 y 5:

- Elige y aplica las pruebas de comparaciones múltiples.
- Aplica los diseños experimentales e interpreta sus resultados.

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje recomendadas



Semana 16

Actividades finales del bimestre

Apreciado estudiante:

Hemos llegado al final del segundo bimestre, recuerde dedicar esta semana a recordar y reforzar los temas revisados en las unidades 3 a la 5, para ello usted deberá analizar los contenidos respecto de:

Unidad 3: experimentos con un solo factor, recuerde que este tipo de experimentos implica comparaciones y pruebas de distintos tipos, recuerde intentar interiorizar las diferencias entre los tipos de pruebas y los conceptos implicados, además intente revisar algunas definiciones que no logre entender. Además, revise las estrategias para la verificación de los supuestos del ANOVA y los distintos métodos para realizarlos. Recuerde también que en este nivel ya usted estará realizando actividades prácticas que implican hacer análisis utilizando R o el software estadístico de su elección.

Unidad 4: diseño en Bloques, revise detenidamente los conceptos implicados en esta unidad, recuerde que hay distintas formas de correr experimentos utilizando estos diseños, revise las fuentes de variabilidad de todos los mencionados en esta unidad y analice las diferencias para luego recordarlas cuando sea necesario.

Unidad 5: diseños factoriales, en esta última unidad revise usted no solo los conceptos implicados y las diferencias en los arreglos, sino también los posibles alcances y las diferencias con los diseños anteriormente revisados.





4. Autoevaluaciones

Autoevaluación 1

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	c	Un experimento implica manipulación que altera las condiciones de un sistema o proceso.
2	a	La variable de respuesta es la que sirve para conocer el efecto o los resultados de cada prueba experimental.
3	d	Las variables que en un proceso se pueden fijar en un determinado nivel, es decir, se pueden controlar, son las variables controlables.
4	b	La temperatura de creación es el factor que se va a controlar para poder analizar su influencia en la fabricación de botellas pet.
5	a	La fecha de cumpleaños es un factor no controlable, ya que difícilmente se puede establecer como condición que los grupos de empleados analizados hayan nacido en un determinado rango de fechas.
6	d	La cantidad en este caso de colorante o de cualquier tipo es un factor que se puede controlar en cualquier manipulación.
7	a	El error aleatorio constituye la variable observada que no se puede explicar por los factores estudiados y que resulta del pequeño efecto de los factores no estudiados y el error del experimento.
8	a	Los niveles son los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño de experimento
9	b	La combinación de dos factores en un determinado nivel constituye lo que se conoce como tratamiento.
10	a	La repetición en un diseño experimental implica hacer una distinción entre las variables y el error aleatorio.

[Ir a la autoevaluación](#)



Autoevaluación 2

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	b	Los experimentos comparativos simples estudian un solo factor con dos niveles o tratamientos para determinar si hay diferencias significativas.
2	b	Las poblaciones infinitas suelen requerir muestras representativas para analizar sus características, dado su tamaño ilimitado.
3	c	Una muestra debe ser representativa de la población para garantizar que las conclusiones sean válidas.
4	a	La población incluye a todos los trabajadores expuestos al ruido en la planta industrial.
5	b	El parámetro describe características de una población, como la media o la proporción.
6	c	La hipótesis unilateral solo considera una dirección (valores mayores o menores) al evaluar la hipótesis nula.
7	b	El error tipo I representa el riesgo de rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera.
8	a	Estas distribuciones son ampliamente usadas debido a su aplicabilidad en pruebas estadísticas comunes.
9	b	La estimación puntual proporciona un valor único, como la media muestral, para estimar un parámetro de población.
10	c	Las pruebas de hipótesis permiten emitir conclusiones confiables y basadas en evidencia para responder preguntas de investigación.

[Ir a la autoevaluación](#)



Autoevaluación 3

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	b	Hacer inferencia significa capturar toda la información o características de una población a partir de una muestra representativa de la misma población.
2	d	Un estadístico es una cantidad que se obtiene a partir de los datos de una muestra y que ayuda a resumir las características de la misma muestra.
3	a	Una muestra es una parte representativa de una población dada.
4	a	Un estimador puntual es un estadístico que estima un valor de un parámetro de la población.
5	d	Una hipótesis de investigación es una declaración realizada por un investigador cuando este especula acerca de un resultado final de una investigación o experimento.
6	b	Un estadístico de prueba es aquella fórmula con la que a partir de los datos de una hipótesis nula se calcula un número cuya magnitud permite discernir si se rechaza o no dicha hipótesis.
7	d	Los diseños completamente al azar son considerados experimentos con un solo factor, ya que intentan analizar la influencia de un solo factor sobre una variable de respuesta.
8	b	El ANOVA o análisis de varianza separa la variación total en las partes con las que influye cada fuente de variación en un experimento.
9	a	La hipótesis en un análisis de varianza en un diseño completamente al azar está representada por la igual de las medias como en cualquier ANOVA, pero en un DCA, este se especifica como la igualdad de los tratamientos respecto de la media de la respectiva variable de respuesta.
10	c	En los diseños completamente al azar; si lo que se quiere es comparar las cuatro diferentes dietas en la reducción de enfermedades coronarias y se hacen ocho repeticiones, se tendrán 32 observaciones de respuesta al azar ($8 \times 4 = 32$).

[Ir a la autoevaluación](#)



Autoevaluación 4

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	b	Los diseños completamente al azar son considerados experimentos con un solo factor, ya que intentan analizar la influencia de un solo factor sobre una variable de respuesta.
2	c	A partir de la idea de verificar si un conjunto de datos ha sido generado por un proceso normal, entendiéndose como proceso normal a su distribución normal, se utilizará la prueba de Shapiro-Wilks.
3	a	El análisis de la varianza separa la variación total en las partes con las que influye cada fuente de variación en un experimento.
4	b	La prueba de Durbin-Watson se utiliza para verificar el supuesto de independencia en un ANOVA con la limitación que esta no logra detectar otros patrones de correlación entre los residuos que son descriptores de que no se cumple el proceso, en cuyo caso es restrictiva.
5	d	La hipótesis de partida en un DCA será la igualdad de los tratamientos respecto de la media de la correspondiente variable de respuesta.
6	b	El método de diferencias mínima significativa es uno de los más usados y parte de la hipótesis nula de igualdad de las medias entre dos tratamientos.
7	a	El factor de bloque lo constituyen las variables adicionales al factor de interés que se incorporan de manera explícita en un experimento comparativo.
8	d	Las fuentes de variabilidad en un diseño en bloque completamente al azar son el factor de tratamiento, el factor de bloque y el error aleatorio.
9	a	Los diseños en bloque de cuadro latino se emplean cuando se controlan dos factores de bloque, uno de tratamientos con la misma cantidad de niveles.
10	c	El número de factores diferencia los arreglos en bloque de tipo latino de los grecolatinos, en el primer caso se controlan dos y en el tercer caso se controlan tres factores.

[Ir a la autoevaluación](#)



Autoevaluación 5

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	b	En los factores cuantitativos los niveles toman valores continuos, por tanto, un factor cuantitativo es aquel en el que los niveles toman cualquier valor dentro de un determinado intervalo.
2	b	El efecto de un factor es el cambio que se observa en la variable de respuesta a causa de un cambio de nivel en el factor estudiado.
3	c	El efecto principal son los cambios en la media de la variable de respuesta dada por el efecto individual de cada factor estudiado, se puede obtener de la diferencia entre los promedios de las respuestas observadas en el nivel alto menos el nivel bajo.
4	d	El efecto de interacción se da cuando en la variable de respuesta el efecto de un factor depende del nivel en el que está otro, por ejemplo, el factor A y el factor B interactúan si el efecto de A es bastante diferente en cada nivel en el que se encuentra B.
5	a	El arreglo factorial es cualquier conjunto de tratamientos o puntos experimentales que se puedan formar al considerar todas las posibilidades de combinación de los niveles de los factores.
6	b	En un arreglo factorial con tres factores; 3^k significa k factores con 3 niveles de prueba en cada uno.
7	a	En los arreglos factorial $2^k - 2^k$ significa k factores con 2 niveles de prueba en cada uno, principalmente útiles cuando el número de factores a estudiar está entre dos y cinco (). Las réplicas consistirán en $2 \times 2 = 4$ tratamientos.
8	d	Se utilizan diseños con tres factores, cuando se quiere estudiar la influencia de tres factores (A, B y C) sobre una o más variables de respuesta, con el mismo número de niveles (tres; a, b y c) que se prueban en cada uno de los factores.
9	a	Los factoriales mixtos se usan o se construyen cuando los factores estudiados no tienen el mismo número de niveles, por ejemplo $4 \times 3 \times 2$, es decir, se experimenta con tres factores, cuatro, tres y dos niveles para cada factor respectivamente.
10	d	Cuando los niveles de prueba usados en un factor son una muestra aleatoria de la población de niveles posibles para ese factor, es mucho más apropiado usar un modelo efectos o factores aleatorios.

[Ir a la autoevaluación](#)





5. Referencias bibliográficas

- Domínguez, J. D., & Tostado, E. C. (2016). Diseño de experimentos: estrategias y análisis en ciencias e ingenierías. Alpha Editorial.
- Douglas, M. C. (2003). Diseño y Análisis de Experimentos (3a ed.). Limusa Wiley.
- Fisher, A. (1971). The design of experiments. U. S. A., Hafner Publishing Company, Ing.
- Gavilánez Luna, F. (2021). Diseños y análisis estadísticos para experimentos agrícolas. Ediciones Díaz de Santos.
- González-Hernández, I. J. (2013). Diseño de experimentos y su aplicación en la industria. Boletín Científico ICBI, 1(1). <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/sahagun/n1/e1.html#refe>
- Gutiérrez, H. & de la Vara, R. (2012). Análisis y diseño de experimentos. México, D.F.: MacGraw Hill.
- Martínez, M. & Yandún, E. (2017) Seguridad y Salud Ocupacional en Ecuador: Contribución Normativa a la Responsabilidad Social Organizacional. España, INNOVA Research Journal. Pgs. 56-58.
- Melo, L. L. O., Melo, S., & López, L. (2007). Diseño de experimentos [Métodos y Aplicaciones]. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Mendenhall, W., Beaver, R. J., & Beaver, B. M. (2015). Introducción a la probabilidad y estadística (14a ed.). Cengage Learning.
- Sampieri, R. H. (2018). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill.

