

Exploración al diseño experimental

Luis Enrique Rojas Cárdenas*
Lucio Rojas Cortés**

Resumen

Para cualquier fenómeno en el que existe la incertidumbre, el procedimiento apropiado para investigarlo es experimentar con él, de manera que puedan identificarse las características del interés. Una de las tendencias más notables en la década pasada fue el uso de experimentos cuidadosamente diseñados y científicamente controlados.

En el presente artículo se hace una recopilación del proceso histórico que fue consecuencia y motivó el estudio del diseño experimental con su máximo exponente, sir. Ronald Fisher, a principios del siglo XX.

Se presentan algunos conceptos del Diseño Experimental tales como: Variables de

Entrada (controlables), Variables Incontrolables y Variables de Salida. Además se describen las razones y los pasos al planear un experimento (metodología) y algunos campos de aplicación.

1. Origen del diseño experimental

La estadística provee al estadístico o investigador de un conjunto de herramientas que es necesario conocer con sus particularidades y usos, para saberlos aplicar desde el planteamiento hasta la interpretación de los resultados, según las circunstancias.

Según Ronald Fisher en su obra titulada "Statistical methods for research workers", afirma que la historia de la teoría

* Lic. Matemáticas - Universidad Distrital, docente cátedra - Facultad de Ingeniería de la Universidad Militar "Nueva Granada", docente Universidad Javeriana.

** Lic. Matemáticas - Universidad Distrital, Esp. En Gerencia de Costos, docente - Facultad de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Militar "Nueva Granada", docente Universidad Javeriana, docente Universidad Central.

estadística empleada en el diseño de experimentos se remonta al célebre ensayo de Thomas Bayes publicado en 1763 y conocido como el primer intento de utilizar la teoría de la probabilidad como instrumento de razonamiento inductivo, para deducir de lo particular a lo general o de la muestra a la población.

Afirma que Laplace (1820) admitió el principio de la probabilidad inversa y que a él se debe el principio de que la distribución de una cantidad compuesta por partes independientes muestra una serie de características como son la media, la varianza y otros acumulantes, que son la suma de características iguales de las distribuciones de las partes componentes; esta conclusión también fue deducida por Thiele (1889) pero los métodos utilizados por Laplace fueron más poderosos que los de Thiele y tuvieron mayor influencia en el desarrollo del tema en Francia e Inglaterra.

El origen de la estadística aplicada a la biología se remonta a los estudios de Francis Galton y Karl Pearson (1857-1936), quienes sentaron las bases de la estadística, habiendo dedicado el último de los mencionados casi medio siglo a serias investigaciones sobre estadísticas de las muestras grandes. La primera de las distribuciones características de las pruebas modernas de significación, aunque originaria de Helmert, fue redescubierta por Pearson en 1900 para la medida de la discrepancia entre la observación y la hipótesis, conocida como X^2 (chi cuadrado), esto es la gran contribución a los métodos estadísti-

cos que siempre se le atribuirán al profesor Pearson. Como se dijo anteriormente Pearson trabajó con muestras grandes, pero como los investigadores tienen que trabajar con muestras pequeñas fue W.S. Gosset (1876-1937), alumno de Pearson, quien primero se dedicó al estudio de muestras pequeñas realizando sus publicaciones con el seudónimo de "Student" y aún hoy su prueba t (prueba de student) es de gran utilidad para los estadísticos. A él se le debe el estudio de las distribuciones exactas que comenzó en 1908, con el trabajo titulado "El error probable de una media", una vez que se indicó la verdadera naturaleza del problema, un gran número de problemas de muestras quedó al alcance de las soluciones matemáticas.

Student mismo dio en dicho trabajo y en otros posteriores, las soluciones correctas para tres problemas de esta clase:

- ◆ La distribución de la varianza estimada.
- ◆ La distribución de la media muestral dividida por su desviación estándar estimada.
- ◆ La distribución del coeficiente de correlación estimado entre variables independientes.

Estas cuestiones fueron suficientes para establecer la posición de las distribuciones muestrales de X^2 y de t , aunque se necesitaron otros trabajos posteriores para demostrar cómo muchos problemas de pruebas de significación podían ser reducidos a esas dos formas e incluso a la distribución F (de Fisher).

Posteriormente el **Sir Ronald A Fisher (1890-1962)**, influenciado por Pearson y Student, hizo importantes y numerosas contribuciones a la estadística, con investigaciones hacia el interior de distribuciones de datos estadísticos como el coeficiente de correlación; concibió la idea del diseño de experimentos como un método para obtener información más completa y más precisa en la realización de un experimento. Fisher forjó el idioma y desarrolló la metodología de la biometría moderna, dando un impulso a su empleo en agricultura, biología y genética.

Durante los años de 1930 la influencia de su trabajo estadístico se difundió a través del mundo de habla inglesa y frecuentemente más allá, así que después de la segunda guerra mundial, con la formación de la Sociedad Internacional biométrica en 1947, un nuevo campo de la investigación científica fue reconocido. Como resultado de la introducción de métodos competentes y la purificación del razonamiento inductivo por los cuales Fisher había sido primeramente el responsable, fue el innovador del uso de los métodos estadísticos en el diseño de experimentos; desarrolló y usó por primera vez el análisis de varianza como herramienta primaria para el análisis estadístico en el diseño experimental. A pesar de que Fisher fue el pionero, muchos otros han contribuido de manera significativa a las publicaciones sobre el diseño de experimentos; entre ellos pueden encontrarse. F. Yates, G. Box, R. Bose, O. Kempthorne, W. Cochran y Douglas Montgomery.

Muchas de las primeras aplicaciones de los métodos del diseño experimental se dieron en el área de la agricultura y ciencias biológicas; sin embargo las primeras aplicaciones industriales del diseño experimental se hicieron en la década de 1930, en la industria textil y de la lana británica. Después de la segunda guerra mundial, los métodos del diseño experimental se introdujeron en las industrias en los Estados Unidos y Europa.

Estos grupos industriales son todavía áreas muy fértiles para el uso del diseño experimental en el desarrollo de productos y procesos. La industria de los semiconductores y la electrónica se ha servido también por muchos años y con considerable éxito de los métodos del diseño experimental.

En años recientes ha habido un renovado interés por el diseño experimental en Estados Unidos en virtud de que varias industrias han descubierto que sus competidores han estado usando por muchos años experimentos diseñados y que esto ha sido un factor importante en su éxito competitivo. Luego se hace necesario que todos los estudiantes reciban adiestramiento formal en diseño experimental como parte de su educación universitaria. La integración exitosa del diseño experimental en las carreras de ingeniería es un factor clave para la futura competitividad en la base industrial de los países que aspiren a participar significativamente de los mercados mundiales.

Los contribuyentes más destacados de estas innovaciones y perfeccionamiento

han sido indudablemente los profesores Karl Pearson, W.S. Gosset y Ronald Fisher, cuyas teorías fueron muy discutidas y hasta combatidas en sus principios, pero que hoy se aceptan y siguen sin discusión por la mayoría de los modernos estadistas. Podemos afirmar que el diseño sirve ya de complemento obligado y de ampliación necesaria a los cursos normales de estadística.

2. Fundamentos del diseño experimental

Un proceso natural en la historia de la humanidad ha sido el interés del hombre por mejorar sus condiciones de vida, y para lograrlo, ha emprendido el estudio de los fenómenos físicos y naturales que ocurren en el medio que los rodea. Como resultado del raciocinio cuidadoso que ha ido refinando a través del tiempo, el hombre desarrolló las ciencias que, en un sentido más o menos abstracto, le permiten explicar sistemáticamente la ocurrencia de los fenómenos que le son familiares. Para comprender estos fenómenos se ha basado en diferentes métodos de análisis pero el más sobresaliente es el **Método Científico**: Que consiste en la aplicación de lógica y objetividad al estudio y entendimiento de un fenómeno; es característica esencial del mismo hacer un examen de lo que ya se conoce. Para formular hipótesis que puedan ponerse a prueba a través de experimentos y que sirvan para hacer predicciones.

Dentro del método científico está el **Método Experimental**: Consiste en observar los hechos o fenómenos en condiciones predeterminadas, para establecer luego las leyes que lo rigen. El hombre no puede siempre actuar en condiciones predeterminadas y a voluntad sobre el medio, ya que hay factores implicados en el problema que no se pueden mantener en forma constante a excepción de que un factor origine los cambios en los resultados y dichos cambios se puedan atribuir al factor que varía, esto se presenta cuando las muestras son demasiado grandes, donde no es confiable utilizar el método experimental, esto lo hace imposible. En este caso se recurre al **Método Estadístico**: Que consiste en observar un fenómeno tal y como él ocurre, y en tomar una serie de valores para permitir su análisis, a fin de deducir la relación entre los distintos valores y las leyes o causas que los han originado.

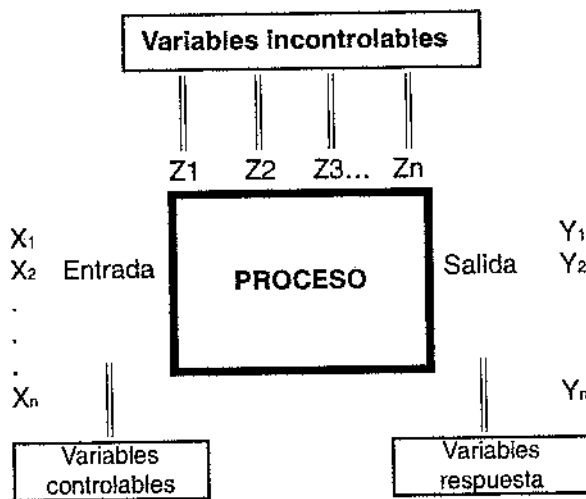
Con el método estadístico se procede sistemáticamente, pero como es imposible mantener los factores constantes a voluntad, se les deja que actúen en la forma acostumbrada, pero se registran las variaciones de todos los factores, para después en el análisis estadístico clasificar los resultados de acuerdo a los factores para ver la influencia en el fenómeno observado.

En la actualidad el investigador generalmente combina el método experimental con el método estadístico, con lo que resulta el experimento diseñado, cuya característica es el Diseño Experimental. Los

investigadores realizan experimentos virtualmente en todos los campos del saber, por lo general para descubrir algo acerca de un proceso o sistema en particular. Literalmente un experimento es una prueba o ensayo. **El Diseño Experimental** es la secuencia completa de pasos, tomados de antemano para asegurar que los datos obtenidos sean apropiados y permitan un análisis objetivo que conduzca a deducciones válidas con respecto al problema establecido.

De acuerdo a lo anterior, el problema experimental tiene dos componentes que están íntimamente ligadas: **El Diseño de experimento y el Análisis estadístico de los datos.**

Algunos conceptos del Diseño Experimental se ilustran en la siguiente figura y se definen a continuación.



Variables dependientes: Son las características de interés a través de las cuales se realiza el estudio (resultados que se

obtienen para el análisis). También se denominan Variables Respuesta (Y_i).

Unidades de muestreo: Son los elementos en los cuales se observa la variable respuesta.

Tratamiento: Es el conjunto de condiciones experimentales, que deben aplicarse a las unidades, cuyos efectos van a ser medidos y comparados. El tratamiento puede referirse al nivel de un factor o la combinación de niveles de varios factores.

Unidades experimentales: Son los elementos de la población sobre los cuales se les aplican los diferentes tratamientos, cada unidad experimental debe proporcionar una o varias respuestas de las variables con las cuales se realiza el estudio.

Variables independientes: Son aquellos aspectos de las unidades experimentales que pueden cambiar o afectar el resultado de la variable de interés (X), también reciben el nombre de factores los cuales se encuentran bajo el control del investigador (variables controlables).

Variables incontrolables: Son aquellas que no están en estudio (Z), porque no se consideran importantes o por la dificultad de mantenerlos constantes dentro del experimento (Temperatura, Luz, Precipitación, etc.).

El error experimental es básicamente la variación que presenta la respuesta de unidades experimentales a las cuales se les ha aplicado un mismo tratamiento. Esta

variabilidad proviene de la heterogeneidad del material experimental y de la falta de uniformidad en la realización del experimento. El error de muestreo se origina en la forma de agrupar las unidades experimentales para efectos de observar la respuesta que en ellas se produce.

3. Metodología del diseño experimental

Para planear, analizar e interpretar experimentos, se debe pedir consejo a un estadístico. Probablemente la fase más importante es planear el experimento, pero sin embargo, es la que menos se toma en cuenta. El investigador debe ponerse de acuerdo con un estadístico para discutir los detalles del experimento, cuando éste se planea por primera vez; debido a que el estadístico puede evitarle al investigador algunos problemas de diseño que luego podrían causar dificultades en el análisis e interpretación de los datos.

El aporte más valioso del estadístico es el hacer preguntas que hacen que el investigador reexamine todos los aspectos del problema, incluyendo sus razones para conducir el experimento. Luego hay que adaptar los planes al sitio particular del experimento, este debe ser de tal naturaleza que se puede llevar a cabo un ensayo preciso y bien diseñado. El análisis e interpretación de los datos obtenidos no debe tener ninguna complicación y las conclusiones obtenidas de los datos deben estar centralizadas en el problema bajo estudio.

3.1 Razones por las cuales se planea un experimento

Un experimento se planea para asegurar que:

- ◆ Se pueden hacer comparaciones, estimaciones y/o pruebas de hipótesis sobre las poblaciones de interés con los tratamientos seleccionados.
- ◆ Al realizar el experimento se obtengan las replicas necesarias; el hacer menos replicas podría no detectar diferencias que si existen, el hacer más podría ser costoso.
- ◆ Habrá un buen estimador del error experimental.
- ◆ El análisis de los datos obtenidos no tendrá complicación. Se ha dado el caso de tener imposibilidad de analizar datos cuando ellos han sido obtenidos de experimentos mal planeados.
- ◆ Se usará aleatorización donde sea necesario.

3.2 Pasos al planear un experimento

A continuación se muestra una guía de procedimiento para diseñar y analizar un experimento:

- ◆ **Comprensión y planteamiento del problema.** Identificar claramente el problema teniendo en cuenta la opinión de todas las partes implicadas, desarro-

llando las ideas sobre los objetivos propuestos dentro del experimento, teniendo en cuenta los siguientes aspectos.

- a) Identificar el área del problema.
- b) Delinear el problema específico con sus limitaciones usuales.
- c) Definir el propósito exacto del problema o prueba.
- d) Determinar la relación del problema particular con la investigación
- e) Reunir la información básica disponible.

Definir los objetivos. Estos pueden estar en la forma de preguntas que van a ser contestadas, hipótesis que se van a probar, efectos que se van a estimar o especificaciones que se van a alcanzar. Muchos investigadores quieren abarcar demasiado y por lo tanto, sus objetivos son muy difusos y muy amplios, pero por otro lado hay casos en que los objetivos son tan limitados que los experimentos se podrían combinar en uno solo. La formulación de los objetivos debe ser clara, concisa y específica. Debe incluir información sobre la población sobre la cual se van a hacer generalizaciones.

Elección de factores y niveles. Se debe conocer el proceso para elegir los factores que variarían, los intervalos de dicha variación y los niveles sobre los cuales se hará el experimento. También debe considerarse la forma en que se controlarán estos factores para mantenerlos en los valores deseados y su forma de medición, para los cual se requieren conocimientos teóricos y experiencia práctica.

Selección de variable de respuesta. La elección de la variable de respuesta debe suministrar información útil acerca del proceso en estudio. Se debe tener en cuenta la medición del error para detectar efectos pequeños que pueden alterar los datos obtenidos.

Elección del diseño experimental. Es necesario considerar el tamaño muestral (número de repeticiones), seguir un orden en los ensayos experimentales y determinar si existen restricciones de aleatorización. Es importante tener presente los objetivos experimentales al seleccionar el diseño. Se debe estimar la magnitud del cambio de la variable respuesta identificando los factores que la alteran. Aunque en otras situaciones habrá más interés en verificar la uniformidad.

Realización del experimento. Es importante controlar el proceso para asegurar que todo se haga conforme a lo planeado evitando, errores que puedan anular la validez experimental. La planeación integral es decisiva para el proceso. Se recomienda:

Desarrollar métodos, materiales y equipo, aplicación correcta de estos métodos o técnicas, supervisar los detalles y modificar los métodos si es necesario, registrar cualquier información al diseño del programa, ser cuidadoso con la colección de datos y registrar el avance del programa.

Análisis de datos. Para analizar los datos, obteniendo resultados y conclusiones objetivas se requiere el empleo de métodos

estadísticos, los cuales proporcionan directrices para la veracidad, validez y confiabilidad de los resultados, su principal ventaja es que agregan objetividad al proceso de toma de decisiones, originando conclusiones razonables.

Informe final. Las conclusiones y recomendaciones de un experimento se deben formalizar por escrito. Es importante tener en cuenta algunos aspectos tales como:

- a) Describir claramente el problema, dando antecedentes y aclaraciones pertinentes tanto del problema como del significado de los resultados.
- b) Usar métodos gráficos y tablas al presentar los datos.
- c) Suministrar información suficiente para que el lector pueda verificar los resultados y obtener sus propias conclusiones.
- d) Limitar las conclusiones a un examen objetivo tal que el trabajo evidencia su uso para consideraciones rápidas y acciones decisivas.

Durante todo este proceso es necesario tener presente que la experimentación es parte importante del proceso de **aprendizaje**, en la cual se formulan tentativamente hipótesis acerca del problema en estudio, se realizan experimentos para investigar dichas hipótesis, y con base en los resultados se formulan nuevas hipótesis. A medida que avanza un programa experimental, con frecuencia se eliminan algu-

nas variables de entrada, se agregan otras, se modifica la región de exploración de algunos factores, se añaden nuevas variables de respuesta, por lo tanto, se experimenta **secuencialmente**, y como regla general la inversión inicial debe ser moderada, ya que, esto asegurará que se disponga de recursos para realizar corridas y en última instancia alcanzar el objetivo final.

4. Campos de aplicación

En las investigaciones se requiere el manejo de información para lo cual se hace necesario aplicar el diseño experimental ya que es parte de un proceso científico que permite obtener y analizar información confiable, donde se utilizan los métodos de diseño experimental que tienen amplia aplicación en las diferentes disciplinas donde se hace investigación.

En las primeras décadas del siglo XX y el final de la segunda guerra mundial se extiende la aplicación de los métodos estadísticos en áreas tan diversas como la Ingeniería (en el control de calidad, métodos de predicción y control de procesos y codificación de señales, y para mejorar el rendimiento de un proceso de manufacturas), en la Física (teoría cinética de los gases), en psicología (personalidad, conducta, inteligencia y aptitud), en Medicina (diagnósticos, tratamientos y prevención de enfermedades, efectos de fármacos y medicamentos, investigaciones clínicas

teóricas), en Biología (procesos vitales, determinación de poblaciones, recursos biológicos y condiciones ecológicas), en Economía (volumen de producción y de ventas, fuerza laboral, precios, volumen de transacciones), en Demografía (incremento de poblaciones humanas, natalidad, morbilidad y mortalidad), en Educación (procesos enseñanza-aprendizaje, orientación vocacional, instituciones educacionales, metodologías en la educación), Genética y antropología entre otras. La búsqueda de respuestas a nuevos interrogantes planteados por las disciplinas anteriores impulsan, a su vez, el desarrollo de nuevos métodos estadísticos.

Conclusiones

1. El Estudio del Diseño experimental se inició básicamente con los escritos de Laplace, Gauss y Pearson, los cuales fueron ampliados por Student, pero fue el alumno de Student, Sir Ronald Fisher quien sentó las bases del diseño experimental realizando trabajos analíticos (ANOVA), con los cuales se revolucionó el estudio de la estadística.
2. Uno de los hechos que caracteriza el estudio de un experimento diseñado es identificar la variabilidad que presentan las variables dependientes, esta variabilidad responde a cambios que el experimentador o el investigador introduce en los valores de las variables independientes (factores y niveles).

Con estas respuestas se puede determinar si existen efectos significativos de los factores sobre las respuestas.

3. Algunos diseños utilizados en el diseño experimental, se usan para controlar la variabilidad producida por fuentes extrañas que se introducen en el experimento y que pueden afectar la variable de respuesta, además disminuyen el error experimental y puede eliminar diferencias individuales de los tratamientos.

Bibliografía

- ALVAREZ RINCON, Wilson. *Diseño experimental*. Algunos métodos estadísticos usados en el diseño experimental. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 1984.
- CANAVOS, George C. *Probabilidad y estadística*. Aplicaciones y métodos. Editorial Mc Graw Hill. México 1988.
- COCHRAN, Willian G. Y GERTRUDE M Cox. *Experimental designs*. Editorial Jhon Wiley. New York. 1966.
- FISHER, Ronald A. *El planeo de experimentos*. Instituto Interamericano de Estadística, 1953.
- MONTGOMERY, Duglas C. *Diseño y análisis de experimentos*. Grupo Editorial Iberoamericana. U.S.A. 1991.