

## **BLOQUE II. EXPERIMENTO**

### **CAPÍTULO 3**

## **Teoría sobre experimentación.**

### **II. 3. 1 Introducción.**

La realización de un experimento, junto con el posterior análisis de los datos obtenidos, constituye una de las dos partes principales de este proyecto, si bien no es la que ha proporcionado los resultados más aplicables y vistosos, es de crucial importancia para todo el desarrollo del mismo. Además, es un aporte novedoso respecto a otros estudios realizados con anterioridad.

La decisión de llevar a cabo una prueba experimental como mecanismo para obtener los datos con los que posteriormente se realizará el clasificador se presenta como un acercamiento importante a nuestro objeto de estudio, esto es, las quemaduras. Se podría haber realizado una selección de características únicamente basada en la caracterización clásica de las quemaduras, explicada en otro apartado o en trabajos anteriores, sin embargo, de esta forma pretendemos conocer de manera más exacta o cercana los criterios de diagnóstico que utilizan los médicos expertos en la materia.

Pruebas de similares características a la realizada en este trabajo han sido utilizadas con éxito en otros campos de estudio muy diversos. Concretamente nosotros nos basamos en un experimento realizado con patrones de tejidos de ropa, [2] y [3].

El experimento fue realizado al personal facultativo del Hospital Virgen del Rocío de Sevilla, pertenecientes a la "Unidad de Quemados" y a la "Unidad de Cirugía Plástica". En este caso el experimento se realizó a personal altamente cualificado y experto en el tema a tratar. En otros estudios esto no ocurre puesto que los encuestados no poseen conocimientos de lo que se propone en la prueba experimental.

Comenzaremos la descripción del experimento con una introducción teórica acerca del diseño experimental. Continuaremos explicando las condiciones en las que se desarrolló la prueba experimental y posteriormente describiremos las distintas etapas que conforman dicha

prueba. Por último veremos el tratamiento que se realiza a los datos obtenidos antes de ser procesados estadísticamente.

## **II. 3. 2 Introducción teórica al diseño experimental.**

El "Diseño de Experimentos" es un modelo estadístico clásico cuyo objetivo es averiguar si unos determinados factores influyen en cierta variable de interés y, si existe influencia de algún factor, cuantificarla [4]. Existen multitud de ejemplos de realización de experimentos, pertenecientes también a muy diversos campos de la vida, no sólo científicos, algunos podrían ser:

- En el rendimiento de un determinado tipo de máquinas, para estudiar la influencia del trabajador que la maneja y la marca de la máquina.
- En telefonía, por ejemplo, una empresa está interesada en conocer la influencia de varios factores en la variable de interés "la duración de una llamada telefónica". Los factores que se consideran son los siguientes: hora a la que se produce la llamada, día de la semana en que se realiza la llamada, zona de la ciudad desde la que se hace la llamada, sexo del que realiza la llamada, tipo de teléfono (público o privado) desde el que se realiza la llamada.
- Una compañía de software está interesada en estudiar la variable "porcentaje que se comprime un fichero al utilizar un programa que comprime ficheros" teniendo en cuenta el tipo de programa utilizado y el tipo de fichero que se comprime.
- Se quiere estudiar el rendimiento de los alumnos en una asignatura y, para ello, se desean controlar diferentes factores: profesor que imparte la asignatura, método de enseñanza, sexo del alumno.

La metodología del diseño de experimentos se basa en la experimentación, en estudiar cómo variar las condiciones habituales de realización de un proceso para aumentar la probabilidad de detectar cambios significativos en la respuesta, de esta forma se obtiene un mayor conocimiento del comportamiento del proceso de interés [4].

Para que la metodología de diseño de experimentos sea eficaz es fundamental que el experimento esté bien diseñado.

Un experimento se realiza, generalmente, por alguno de los siguientes motivos:

- Determinar las principales causas de variación en la respuesta.

- Encontrar las condiciones experimentales con las que se consigue un valor extremo en la variable de interés o respuesta.
- Comparar las respuestas en diferentes niveles de observación de variables controladas.
- Obtener un modelo estadístico-matemático que permita hacer predicciones de respuestas futuras.

En nuestro caso, el objetivo de la realización del experimento es obtener las características básicas en las que se basan los médicos expertos a la hora de diagnosticar una quemadura, lo que se puede corresponder con el cuarto motivo expuesto anteriormente.

Continuamos esta descripción teórica sobre experimentación describiendo un aspecto muy importante del diseño como es la variabilidad.

## **II. 3.3 Variabilidad.**

La variabilidad es un concepto que hace referencia a las distintas causas por las que los datos obtenidos tienen valores distintos cuando deberían ser idénticos. Uno de los principales objetivos de los modelos estadísticos y, en particular, de los modelos de diseño de experimentos, es controlar la variabilidad de un proceso estocástico que puede tener diferente origen. De hecho, los resultados de cualquier experimento están sometidos a tres tipos de variabilidad cuyas características son las siguientes:

### **1. Variabilidad sistemática y planificada.**

Esta variabilidad se origina por la posible dispersión de los resultados y debida a diferencias sistemáticas de las condiciones experimentales impuestas en el diseño por expreso deseo del experimentador. Es el tipo de variabilidad que se intenta identificar con el diseño estadístico.

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

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

### **2. Variabilidad típica de la naturaleza del problema y del experimento.**

Es la variabilidad debida al ruido aleatorio. Este término incluye, entre otros, a la componente de variabilidad no planificada denominada error de medida. Es una variabilidad impredecible e inevitable.

Esta variabilidad es la causante de que si en un laboratorio se toman medidas repetidas de un mismo objeto ocurra que, en muchos casos, la segunda medida no sea igual a la primera y, más aún, no se puede predecir sin error el valor de la tercera. Sin embargo, bajo el aparente caos, existe un patrón regular de comportamiento en esas medidas: todas ellas tenderán a fluctuar en torno a un valor central y siguiendo un modelo de probabilidad que será importante estimar.

Esta variabilidad es inevitable, pero, si el experimento ha sido bien planificado, es posible estimar o medir su valor, lo que es de gran importancia para obtener conclusiones y poder hacer predicciones.

Es una variabilidad que va a estar siempre presente pero que es tolerable.

### **3. Variabilidad sistemática y no planificada.**

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

Como se estudiará posteriormente, existen dos estrategias básicas para tratar de evitar la presencia de este tipo de variabilidad: la aleatorización y la técnica de bloques.

Este tipo de variabilidad debe de intentar evitarse y su presencia lleva a conclusiones erróneas.

## **II. 3. 4 Planificación de un experimento.**

La experimentación forma parte natural de la mayoría de las investigaciones científicas, en muchas de las cuales, los resultados del proceso de interés se ven afectados por la presencia de multitud de factores. Es fundamental conocer los factores que influyen realmente y estimar esta influencia.

La forma tradicional que se utilizaba en la experimentación, para el estudio de estos problemas, se basaba en estudiar los factores uno a uno, esto es, variar los niveles de un factor permaneciendo fijos los demás. Esta metodología presenta grandes inconvenientes:

- Es necesario un gran número de pruebas.
- Las conclusiones obtenidas en el estudio de cada factor tienen un campo de validez muy restringido.

- No es posible estudiar la existencia de interacción entre los factores.
- Es inviable, en muchos casos, por problemas de tiempo o costo.

La planificación del experimento busca disminuir o incluso eliminar estos inconvenientes cuando realicemos la prueba experimental.

A continuación, vamos a enumerar las etapas que deben seguirse para una correcta planificación de un diseño experimental, etapas que deben ser ejecutadas de forma secuencial. También se introducen algunos conceptos básicos en el estudio de los modelos de diseño de experimentos. Es necesario señalar que las etapas que se van a comentar no se han seguido exhaustivamente, en algunos casos porque no procedía, en otros porque la solución práctica era intuitivamente más sencilla que la teoría.

Las etapas a seguir en el desarrollo de un problema de diseño de experimentos son, por tanto, las siguientes:

1. Definir los objetivos del experimento.
2. Identificar todas las posibles fuentes de variación, incluyendo:
  - Factores deseables.
  - Unidades experimentales.
  - Factores no deseables (molestos)
3. Especificar las medidas que se realizarán (la "respuesta"), el procedimiento experimental y anticiparse a las posibles dificultades.
4. Ejecutar un experimento piloto.
5. Especificar el modelo.
6. Esquematizar los pasos del análisis.
7. Determinar el tamaño muestral.
8. Revisar las decisiones anteriores. Modificarlas si se considera necesario.

Los pasos del listado anterior no son independientes y en un determinado momento puede ser necesario volver atrás y modificar decisiones tomadas en algún paso previo.

A continuación, se hace una breve descripción de las decisiones que hay que tomar en cada uno de los pasos enumerados. Sólo después de haber tomado estas decisiones se procederá a realizar el experimento.

## **1. Definir los objetivos del experimento.**

Se debe hacer una lista completa de las preguntas concretas a las que debe dar respuesta el experimento. Es importante indicar solamente cuestiones fundamentales ya que tratar de abordar problemas colaterales puede complicar innecesariamente el experimento.

Una vez elaborada la lista de objetivos, puede ser útil esquematizar el tipo de conclusiones que se espera obtener en el posterior análisis de datos.

Normalmente la lista de objetivos es refinada a medida que se van ejecutando las etapas del diseño de experimento.

## **2. Identificar todas las posibles fuentes de variación.**

Una fuente de variación es cualquier factor que pueda generar variabilidad en la respuesta. Es recomendable hacer una lista de todas las posibles fuentes de variación del problema, distinguiendo aquéllas que, a priori, generarán una mayor variabilidad. Se distinguen dos tipos:

- Factores deseables: son aquellas fuentes cuyo efecto sobre la respuesta es de particular interés para el experimentador.
- Factores no-deseables: son aquellas fuentes que no son de interés directo pero que se contemplan en el diseño para reducir la variabilidad no planificada.

Otro concepto es el de unidad experimental, que hace referencia a los objetos que serán observados durante la prueba. En este caso, las unidades experimentales son las diapositivas con fotografías que son observadas en el test.

## **3. Especificar las medidas que se realizarán (la "respuesta"), el procedimiento experimental y anticiparse a las posibles dificultades.**

Variable respuesta o variable de interés. Los datos que se recogen en un experimento son medidas de una variable denominada variable respuesta o variable de interés.

Es importante precisar de antemano cuál es la variable respuesta y en qué unidades se mide. Naturalmente, la respuesta está condicionada por los objetivos del experimento. Por ejemplo, si se desea detectar una diferencia de 0'05 gramos en la respuesta de dos tratamientos no es apropiado tomar medidas con una precisión próxima al gramo.

A menudo aparecen dificultades imprevistas en la toma de datos. Es conveniente anticiparse a estos imprevistos pensando detenidamente en los

problemas que se pueden presentar o ejecutando un pequeño experimento piloto (etapa 5). Enumerar estos problemas permite en ocasiones descubrir nuevas fuentes de variación o simplificar el procedimiento experimental antes de comenzar.

También se debe especificar con claridad la forma en que se realizarán las mediciones: instrumentos de medida, tiempo en el que se harán las mediciones, etc.

#### **4. Ejecutar un experimento piloto.**

Un experimento piloto es un experimento que utiliza un número pequeño de observaciones. El objetivo de su ejecución es ayudar a completar y chequear la lista de acciones a realizar. Las ventajas que proporciona la realización de un pequeño experimento piloto son las siguientes:

- Permite practicar la técnica experimental elegida e identificar problemas no esperados en el proceso de recogida de datos.
- Si el experimento piloto tiene un tamaño suficientemente grande puede ayudar a seleccionar un modelo adecuado al experimento principal.
- Los errores experimentales observados en el experimento piloto pueden ayudar a calcular el número de observaciones que se precisan en el experimento principal.

#### **5. Especificar el modelo.**

El modelo matemático especificado debe indicar la relación que se supone que existe entre la variable respuesta y las principales fuentes de variación identificadas en el paso 2. Es fundamental que el modelo elegido se ajuste a la realidad con la mayor precisión posible.

El modelo más habitual es el modelo lineal:

$$Y = \sum_{i=1}^k \alpha_i + \varepsilon$$

En este modelo la respuesta viene dada por una combinación lineal de términos que representan las principales fuentes de variación planificada más un término residual debido a las fuentes de variación no planificada. El experimento piloto puede ayudar a comprobar si el modelo se ajusta razonablemente bien a la realidad.

#### **6. Esquematizar los pasos del análisis estadístico.**

El análisis estadístico a realizar depende de:

- Los objetivos elegidos para el experimento en el paso primero.

- El modelo asociado que se especificó en el paso quinto.

### **7. Determinar el tamaño muestral.**

Calcular el número de observaciones que se deben tomar para alcanzar los objetivos del experimento.

Existen, dependiendo del modelo, algunas fórmulas para determinar este tamaño. Todas ellas sin embargo requieren el conocimiento del tamaño de la variabilidad no planificada (no sistemática y sistemática, si es el caso) y estimarlo a priori no es fácil, siendo aconsejable sobreestimarla. Normalmente se calcula a partir del experimento piloto y en base a experiencias previas en trabajos con diseños experimentales semejantes.

### **8. Revisar las decisiones anteriores. Modificar si es necesario.**

De todas las etapas enumeradas, el proceso de recogida de datos suele ser la tarea que mayor tiempo consume, pero es importante realizar una planificación previa, detallando los pasos anteriores, lo que garantizará que los datos sean utilizados de la forma más eficiente posible.

Es fundamental tener en cuenta que:

- "Ningún método de análisis estadístico, por sofisticado que sea, permite extraer conclusiones correctas en un diseño de experimentos mal planificado".
- Recíprocamente, debe quedar claro que el análisis estadístico es una etapa más que está completamente integrado en el proceso de planificación.
- "El análisis estadístico no es un segundo paso independiente de la tarea de planificación. Es necesario comprender la totalidad de objetivos propuestos antes de comenzar con el análisis. Si no se hace así, tratar que el experimento responda a otras cuestiones a posteriori puede ser (lo será casi siempre) imposible".
- Pero no sólo los objetivos están presentes al inicio del análisis sino también la técnica experimental empleada.

## **II. 3. 5 Principios básicos del diseño de experimentos.**

Al planificar un experimento hay tres principios básicos que se deben tener siempre en cuenta:

- El principio de aleatorización.
- El bloqueo.

- La factorización del diseño.

### **1. El principio de aleatorización.**

Aleatorizar todos los factores no controlados por el experimentador en el diseño experimental y que pueden influir en los resultados.

Ventajas de aleatorizar los factores no controlados:

- Transforma la variabilidad sistemática no planificada en variabilidad sistemática planificada o ruido aleatorio. Dicho de otra forma, aleatorizar previene contra la introducción de sesgos en el experimento.
- Evita la dependencia entre observaciones al aleatorizar los instantes de recogida muestral.
- Valida muchos de los procedimientos estadísticos más comunes.

### **2. El bloqueo.**

Se deben dividir o particionar las unidades experimentales en grupos llamados bloques de modo que las observaciones realizadas en cada bloque se realicen bajo condiciones experimentales lo más parecidas posibles.

A diferencia de lo que ocurre con los factores tratamiento, el experimentador no está interesado en investigar las posibles diferencias de la respuesta entre los niveles de los factores bloque.

Bloquear es una buena estrategia siempre y cuando sea posible dividir las unidades experimentales en grupos de unidades similares.

La ventaja de bloquear un factor que se supone que tienen una clara influencia en la respuesta pero en el que no se está interesado, es la siguiente:

- Convierte la variabilidad sistemática no planificada en variabilidad sistemática planificada.

### **3. La factorización del diseño.**

Un diseño factorial es una estrategia experimental que consiste en cruzar los niveles de todos los factores tratamiento en todas las combinaciones posibles.

Ventajas de utilizar los diseños factoriales:

- Permiten detectar la existencia de efectos interacción entre los diferentes factores tratamiento.
- Estrategia más eficiente que la estrategia de examinar la influencia de un factor manteniendo constantes el resto.