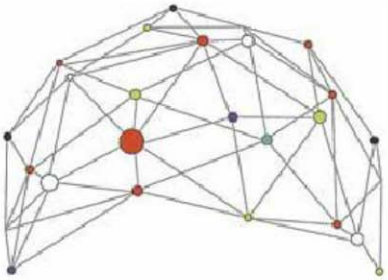
TERCERMILENIO

657 CIENCIA APLICADA | CREATIVIDAD | EMPRESAS | HERALDO DE ARAGÓN Martes 11.Mar.2014

DISEÑO DE EXPERIMENTOS

>ESTADÍSTICA DE LABORATORIO

En el diseño de experimentos también interviene la estadística, que se encarga de sacar el máximo provecho de los datos y evitar sesgos. Como bien saben la industria y la investigación, un buen diseño experimental consigue la máxima información en el menor tiempo y con el mínimo coste, es decir, el mínimo número de experimentos. PÁGS. 4-5



PROYECTOS EUROPEOS>El ITA participa en el desarrollo de un cemento con agentes espumantes que dejará menor huella de carbono que el fribrocemento. PÁG. 2

LA CIENCIA PATENTA>La familia de paquetes informáticos Gestar gestiona redes de riego. El próximo reto es aplicar el goteo al cultivo extensivo. PÁG. 7

CIENCIA URBANA>La tercera edición del concurso Science of the City nos invita a crear vídeos en los que se muestre la ciudad desde una perspectiva científica. PAG. 8

Visítanos en
blogs.heraldo.es/ciencia/

Coordina: María Pilar Perla Mateo milenio@heraldo.es twitter.com/milenioheraldo www.facebook.com/milenioheraldo

Patrocinan

ita

UNIÓN EUROPEA
FEDER
"Construyendo Europa desde Aragón"

GOBIERNO DE ARAGÓN
Departamento de Industria e Innovación

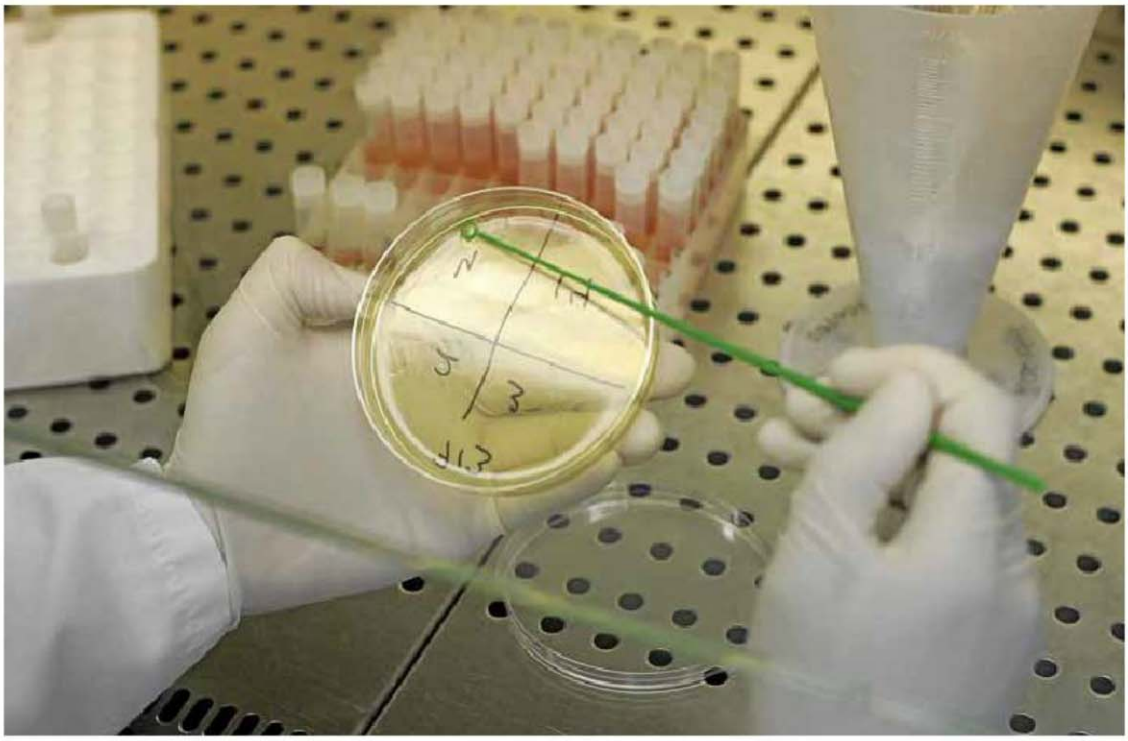
Edita

Tercer Milenio es un suplemento de ciencia aplicada y creatividad editado por HERALDO DE ARAGÓN para el mundo de la investigación, la empresa aragonesa y la enseñanza media y superior, a los que llega con la colaboración del Departamento de Industria e Innovación del Gobierno de Aragón.

EN PORTADA

PENSAR ANTES DE ACTUAR>DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS

¿Hay datos buenos y malos desde el punto de vista de la información que encierran? Más en concreto, consideremos dos conjuntos de 30 números cada uno. ¿Puede ser un conjunto más informativo que el otro cuando, al fin y al cabo, no son más que dos conjuntos con la misma cantidad de números? La respuesta es que hay números (observaciones de un experimento), que son más informativos que otros y ahí entra en juego el diseño estadístico para planificar una experimentación que nos lleve a conseguir la máxima información con el mínimo coste, es decir, el mínimo número de experimentos. TEXTO **JESÚS LÓPEZ FIDALGO**



REGLAS DE ORO EN EL DISEÑO DE UN EXPERIMENTO

- Reconocimiento pre-experimental del terreno.
- Elegir bien el modelo que se va a utilizar según las variables que se van a medir.
- Dedicar un tiempo para diseñar el experimento preservando los principios básicos de: aleatoriedad, réplicas o repeticiones y uso de bloques para eliminar el 'ruido'.
- Supervisar la realización del experimento para que se respeten los principios anteriores.
- En el análisis final de los datos, tener en cuenta los imprevistos que hayan surgido.
- Ser cuidadoso en la interpretación de los resultados, considerando particularidades relevantes a tener en cuenta.

UN TIEMPO PRECIOSO Experimentar tiene un coste, a veces muy importante. Por ejemplo, en agricultura hay que esperar largos periodos de tiempo hasta que se ve el resultado. Si este es poco informativo, habremos perdido un tiempo precioso. No es casualidad que el diseño estadístico de experimentos naciera precisamente en este campo.

1843. Se inicia en Rothamsted (Harperden, Reino Unido) un ensayo de larga duración llamado Broadbalk. Un campo de cultivo se divide en pequeñas parcelas de tierra de fertilidad probablemente homogénea y se plantan todas las variedades de un cultivo en cada una de las parcelas. Solo así es posible controlar el efecto de la fertilidad de la tierra. De otra forma, el estudio podría verse sesgado de raíz al existir la posibilidad de sembrar o plantar una variedad en un terreno muy fértil y tener la 'mala suerte' de sembrar otra variedad específica en un terreno muy malo para el cultivo.

LA IMPORTANCIA DE LA ALEATORIEDAD Todo procedimiento estadístico se basa en la aleatoriedad, el azar. Lo que no es aleatorio es determinista (si suelto este bolígrafo, caerá al suelo con toda seguridad) y, por tanto, se determina con cálculos más o menos complejos, pero, en principio, exactos. La aleatoriedad nos permite el uso de las leyes de la probabilidad. Esto, lejos de ser algo artificial, es precisamente reflejo del razonamiento ordinario de la mente. Habitualmente, los acontecimientos y sucesos de la vida se presentan cargados de incertidumbre (¿lloverá mañana?, ¿vendrá gente al estreno de la película?), que tratamos de medir como sea, incluso de modo subjetivo o basándonos en la experiencia propia o ajena. No será hasta los años cuarenta del siglo XX cuando el genetista y estadístico británico Ronald Fisher desarrolle la teoría del diseño de experimentos de un modo riguroso y sistemático.

EL ESTADÍSTICO FISHER DESARROLLÓ HACIA 1940 LA TEORÍA DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS, QUE EVITA SESGOS Y REDUCE TIEMPOS Y COSTES

Fisher gozaba de una personalidad muy peculiar. En el departamento instituyó la costumbre de tomar el té todos juntos a las cinco de la tarde. Se cuenta que era una manera de controlar que todos trabajaban al menos hasta esa hora. En cierta ocasión, estaba invitada Miss Buriel Bristol. Ronald Fisher, muy amable, le sirvió el té, pero ella lo rechazó al reconocer que la leche había sido agregada al final. Incrédulo de que ella realmente fuera capaz de reconocer si la leche se había echado antes o después del té, le propuso un re-

ESTUDIOS MANIPULADOS PARA QUE LOS RESULTADOS SALGAN A NUESTRO FAVOR

LA PARADOJA DE SIMPSON Las empresas farmacéuticas, y otras muchas, han de ser especialmente cuidadosas en los estudios que llevan a tomar decisiones acerca de recomendar y comercializar un nuevo tratamiento, lo que traerá a la empresa muchos beneficios. Sin hacer trampa modificando u omitiendo datos, se puede manipular el estudio haciendo un diseño experimental inadecuado.

Supongamos que en una determinada enfermedad se está utilizando un tratamiento que funciona relativamente bien y consiste en tomar unas pastillas llamadas Curamina. La empresa Pharmacheat ha trabajado duramente en una nueva medicina llamada Fraudol (los nombres son imaginarios). Para demostrar que su nuevo producto es mejor hacen un experimento con 80 pacientes administrando Curamina a 40 de ellos y Fraudol a otros 40. Al cabo de un tiempo, se observa que los resultados son mejores con el nuevo producto. Con Fraudol mejora el 60% de los pacientes, mientras que con Curamina mejora tan solo el 50%. Sin embargo, pueden existir otras variables que influyan en este proceso curativo y que modifiquen significativamente los resultados.

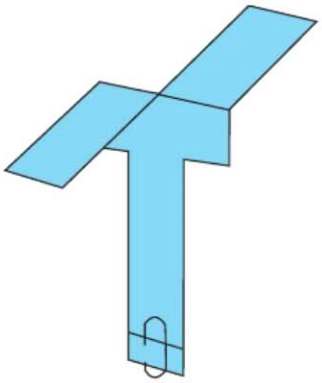
MIRANDO CON LUPA EL PROCEDIMIENTO En muchos casos es importante considerar separadamente a hombres y a mujeres. Hagamos esa desagregación para ver qué pasa. Al observar los datos, resulta que se administró Curamina a 30 hombres y Fraudol tan solo a 10. El resultado es que mejora el 40% de hombres a los que se administró Curamina y solo el 30% de los que se les administró Fraudol. Por tanto, la conclusión a la que parecía haberse llegado empieza a ser cuestionable.

El lector estará pensando que lo contrario ocurrirá con las mujeres, pero los resultados vuelven a ser diversos. En particular, se administró Curamina a 10 mujeres, de las que mejoró el 80%, y Fraudol a 30, de las que mejoró el 70%. Es sorprendente pero cierto, de ahí que se conozca como paradoja de Simpson.

Cuando se examina con calma el diseño experimental empleado, no cabe duda de que hay algo extraño. Hay 40 hombres y 40 mujeres en el estudio, lo que es correcto. Supongamos que es sabido que, de esta enfermedad, curan antes las mujeres que los hombres de modo natural. Basta entonces administrar Fraudol a muchas más mujeres que a hombres y se conseguirá manipular los resultados sin hacer nada aparentemente mal.

Es importante considerar en un diseño todas aquellas variables que puedan influir en el resultado final aunque en principio no nos interese estudiar su efecto. Una vez más, el diseño de experimentos y el conocimiento estadístico en general nos proporcionan un sano espíritu crítico que ayuda a desenmascarar estudios y conclusiones erróneas.

NO ES LO MISMO REPLICAR EXPERIMENTOS QUE REPETIRLOS



Por diversos motivos, siempre es deseable poder realizar de nuevo un experimento en las mismas condiciones. Debido a la incertidumbre y a causas desconocidas, el resultado no va a ser exactamente el mismo y esto es muy relevante en el tratamiento estadístico. Por eso es tan importante distinguir entre experimentos replicados y experimentos repetidos.

Construyamos un helicóptero de papel muy elemental con un papel y un clip. Una vez fabricado, se suelta desde una altura determinada, basta con un par de metros, y se mide el tiempo que tarda en caer al suelo mientras van girando sus alas. Podríamos hacer experimentos variando la longitud de las alas, del cuerpo, la envergadura, el peso del clip o la altura desde la que se lanza. Aquí es donde entra en juego el diseño de experimentos para decidir cuáles son las medidas del helicóptero más oportunas para experimentar. ¿Te animas a hacer algunas pruebas con dos o tres modelos de helicóptero?

Replicar el experimento consistiría en este caso en construir dos helicópteros con las mismas medidas, lanzarlos desde la misma altura y medir los tiempos. Lógicamente, replicar exactamente todo esto es imposible: al recortar los helicópteros no nos van a salir exactamente iguales y los dos clips no pesarán exactamente lo mismo...; además, al dejarlos caer es difícil que consigamos exactamente la misma altura, que los dedos lo suelten exactamente en el momento en que comienza el cronómetro a funcionar y que este se pare en el instante exacto en que hace contacto con el suelo. Puede ser además que, en el segundo intento, haya pasado una pequeña ráfaga de aire apenas perceptible...

Repetir un experimento consiste en volver a realizar el experimento con el mismo helicóptero. Es decir, se deja caer una vez y se mide el tiempo; luego se vuelve a dejar caer y se mide de nuevo el tiempo. Al ser el mismo helicóptero, eliminamos en parte la variabilidad.

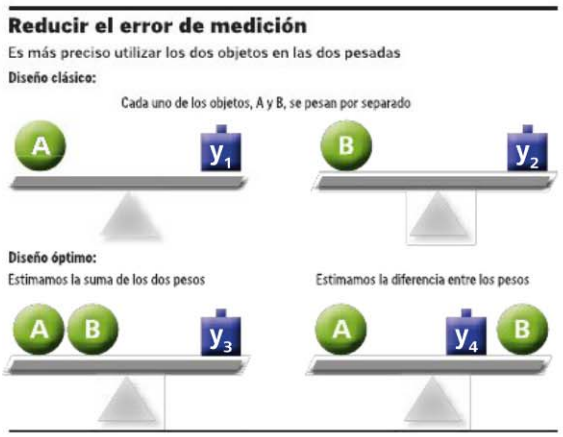
Está claro que no se puede realizar el mismo análisis estadístico de los datos para ambos casos. Pero ¿qué es mejor: replicar o repetir? Es mejor replicar porque así consideramos una variabilidad más realista, al medir más causas posibles de variabilidad. Sin embargo, a veces nos interesará observar qué ocurre en dos situaciones distintas. Por ejemplo, si nos interesa estudiar las diferencias de tiempo de vuelo en dos días con alta presión (soleado y caluroso) y baja presión (nublado y lluvioso). En ese caso, es mejor utilizar el mismo helicóptero ambos días porque así medimos exactamente la variabilidad que queremos, es decir, la debida a la presión atmosférica, y no la debida a la construcción de los helicópteros.

¿MERECE LA PENA INVERTIR EN DISEÑAR UN EXPERIMENTO?

Cuando se quiere medir el peso de un objeto, se utiliza una balanza, por ejemplo la clásica de dos platos. Por muy precisa que sea, siempre tendrá un error de medición. Supongamos que se desea conocer el peso de dos objetos en dos pesadas. Es doblemente más preciso utilizar los dos objetos en las dos que pesarlos por separado. Veamos por qué.

Si en una de las pesadas situamos los dos objetos en un plato, estaremos estimando la suma de los pesos. Después, situamos un objeto en cada plato y así estimamos la diferencia entre los pesos. Con un sencillo cálculo, tendremos el peso de cada objeto.

La precisión es doble porque, al utilizar los dos objetos en cada pesada, el error de la balanza se reparte entre ambos, reduciendo el error de medición de cada uno a la mitad.



to. Harían un experimento con ocho tazas: en cuatro se echaría antes la leche y en otras cuatro se añadiría al té ya servido. Las tazas se distribuirían entonces en orden aleatorio y se las presentarían a Miss Buriel Bristol para que adivinase el tipo de combinación.

Fisher hizo notar que no es lo mismo desordenarlas que presentarlas de modo aleatorio. En el modo aleatorio, todas las combinaciones posibles pueden ser elegidas, incluidas algunas extremas como el caso de situar cuatro del mismo tipo seguidas. Presentarlas de modo desordenado, sin embargo, no incluiría situaciones de este tipo. Esto tiene su importancia, porque si Miss Buriel lo supiera, podría jugar con ventaja al saber, por ejemplo, que es menos probable que el mismo tipo de combinación vaya seguido dos veces y muy improbable que lo sea tres veces. Por tanto, un diseño experimental que no guarde este principio podría conducir a conclusiones sesgadas.

DISEÑOS SECUENCIALES Los diseños secuenciales son muy eficientes, ya que requieren el mínimo número de experimentos necesarios para demostrar algo. Esto reduce tiempos y costes de una manera drástica al rediseñar la experimentación conforme se van obteniendo los resultados.

Este tipo de experimentación tiene connotaciones éticas en algunos campos, como es el caso de la medicina.

En un momento dado del proceso, cuando se propone asignar uno de los tratamientos posibles a un nuevo paciente, puede ocurrir que, desde un punto de vista estadístico (científico), interese aplicar un tratamiento que está funcionando, por el momento, peor que otro. Esto podría ser poco a nada ético, dependiendo del riesgo asumido por el paciente. Por eso es importante utilizar una combinación razonable de criterios estadísticos y éticos al mismo tiempo.

EXPERIMENTOS COMPUTACIONALES Hoy día, el llamado diseño de experimentos computacionales basados en las nuevas tecnologías y el manejo de grandes cantidades de información ha adquirido una gran importancia. Grandes simuladores o programas informáticos necesitan probarse en diversas circunstancias que reproduzcan del modo más eficiente la totalidad de las posibles situaciones.

LA INDUSTRIA El diseño de experimentos ha contribuido de modo impresionante al desarrollo industrial del siglo XX al proporcionar una metodología capaz de ahorrar mucho dinero en la experimentación y conseguir resultados más rápidamente.

Se aplicó con gran acierto en Japón después de la II Guerra Mundial y ha dado muy buenos resultados en particular en la llamada calidad total o el diseño de nuevos productos.

Sin duda, en un mundo que genera datos de manera desorbitada, el llamado Big Data, y donde los tiempos y costes son fundamentales, el diseño de experimentos seguirá siendo un arma poderosa en la investigación, el desarrollo y la innovación.

JESÚS LÓPEZ FIDALGO CATEDRÁTICO DE ESTADÍSTICA DE LA UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA