

Varianza y control

CONTROL DE LA VARIANZA

La meta ideal de todo experimentador sería el hecho de que las medidas tomadas de la variable dependiente fueran atribuibles a las manipulaciones de la variable independiente; sin embargo, esto no suele ocurrir nunca, ya que con la variable independiente concurre una serie de variables ambientales y orgánicas, históricas y actuales, que pueden afectar la conducta del sujeto en cierto momento; de ahí que una de las principales tareas del investigador consiste en distinguir los cambios operados en la conducta del sujeto como consecuencia de la manipulación de la variable independiente de los cambios que se producen como consecuencia de otras fuentes de variación.

La variación que observamos en las medidas tomadas de la variable dependiente suele recibir el nombre de *varianza*. De hecho, existen tres grandes fuentes de variación: *a)* la que procede del sujeto; *b)* la que procede del ambiente, y *c)* la que procede de la situación experimental. Cada una de estas tres fuentes actúan, en cierto momento, en la conducta de los sujetos experimentales y, por tanto, pueden afectar los cambios producidos en su conducta. De ahí que en todo experimento deberemos tener presente:

a) Aquellos factores como edad, sexo, herencia, estado actual del organismo, y demás variables subjetivas que afectan la conducta del individuo.

b) En segundo lugar, el conjunto de valores externos que, en determinado momento, inciden en el individuo.

c) Por último, aquellos factores que dependen del experimentador (como sus actitudes, expectativas, procedimiento empleado, etc.), así como del sistema de medida empleado.

Cada una de estas tres categorías de factores pueden ser considerados como una variable independiente y puede ser objeto de una investigación experimental. Por esta razón, y debido a que la acción de estas tres categorías de factores es simultánea, cuando se ha elegido un tipo de *variable independiente*, el experimentador deberá intentar controlar las *restantes* fuentes de variación que puedan afectar la variable dependiente.

Antes de comenzar con el análisis de las técnicas de control, estudiemos los aspectos básicos acerca de la varianza que se observa en las medidas tomadas de la variable dependiente.

Es evidente que ante un conjunto de observaciones realizadas sobre la conducta de un individuo (o varios) en diferentes situaciones experimentales, se compruebe que, aunque hayan sido efectuadas en una misma situación experimental, presenten claras diferencias. El experimentador se halla interesado, naturalmente, en estas diferencias y, sobre todo, en las causas que originan tales diferencias. Como tendremos ocasión de comprobar: cuando un científico pretende probar una hipótesis se apoya básicamente en tales diferencias, y sólo con base en las mismas podrá aceptar o rechazar su hipótesis.

Para un mejor conocimiento y análisis de tales diferencias, que como ya hemos indicado reciben el nombre de varianza, las clasificaremos en dos grandes grupos: *a)* varianza sistemática, y *b)* varianza del error (Kerlinger, 1964).

VARIANZA SISTEMÁTICA

La varianza sistemática consiste en la desviación que presentan los datos en una dirección más que en otra. No siempre la causa de esta notable desviación de los datos hacia cierta dirección se debe a la *variable* manipulada directamente por el experimentador. Muchas veces es por causa de factores *desconocidos* o *extraños* que no han sido completamente controlados; por ejemplo, si consideramos los puntajes de rendimiento escolar de un grupo de niños, aquéllos podrán variar sistemáticamente, según hayan provenido, ya sea de niños pertenecientes a una clase socioeconómica alta, o bien, una baja. El nivel o clase socioeconómica es una variable extraña que puede ocasionar en los datos una distorsión sistemática. En caso de que estuviésemos interesados en el estudio de la eficacia de los diferentes métodos de enseñanza, deberíamos tener en cuenta esta fuente de variación no pretendida.

Por esta razón, el propósito principal de todo investigador consistirá en separar aquellos factores en los que se halla interesado de los que no le interesan. Desde este punto de vista, podríamos definir la investigación como un estudio controlado de la varianza (Kerlinger, 1964).

Puesto que existen dos fuentes de variación sistemática, las dividiremos en *varianza primaria* y *varianza secundaria*.

La *varianza primaria* (denominada también *varianza intergrupos* o *varianza experimental*) refleja los efectos de la manipulación directa de la variable independiente. Si sometemos a diversos grupos de sujetos a diferentes condiciones experimentales, la *varianza observada* entre los diferentes grupos es, de hecho, la *varianza pretendida* por el experimentador.

Por otra parte, la *varianza primaria* puede ser *experimental* o no *experimental*, según la variable independiente sea manipulada, o simplemente asignada; no obstante, esta distinción no afecta tanto a la noción de *variación*, como a las medidas que se obtienen de los fenómenos observados. Esta cuestión se tratará más adelante, al plantear el problema de la medida en psicología. Sólo añadiremos que, dada la mayor utilización del término *varianza intergrupos*, lo utilizaremos siempre que nos refiramos a la *varianza primaria*; es decir, la que constituye el efecto de los diversos valores de la variable independiente.

Consideremos, mediante un ejemplo, la *varianza intergrupos*. Supongamos que un investigador quiera probar la eficacia de tres métodos de enseñanza sobre un tipo de habilidad sensitivomotora. Después de haber enseñado a tres grupos de escolares con los respectivos métodos, se calculan las medias de los grupos. Imaginemos que se obtienen las siguientes medias: 30, 23 y 19. La media general es 24 y, a partir de este valor podemos calcular la *varianza entre medias* o *varianza intergrupos* (tabla 8.1):

Tabla 8.1. Cálculo de la *varianza intergrupos*

	\bar{x}	x	x^2
A	30	6	36
B	23	-1	1
C	19	-5	25
	$\Sigma \bar{x} = 72$		$\Sigma x^2 = 62$

$$\bar{X}_t = 24$$

$$V_{\text{intergrupo}} = \frac{62}{3} = 20.67.$$

La *varianza intergrupos* (20.67) constituye, en este ejemplo, un índice de la *variación* de las medias de los grupos en torno de la media general. En el ejemplo propuesto, se podría suponer que los métodos

(variables independientes) tienden a desviar los puntajes sistemáticamente en un sentido o en otro. Así, se podrá esperar que el rendimiento en cuanto a la actividad motora será más alto con el método A, normal con el método B, e inferior con el método C. La idea básica es la siguiente: "Cuanto mayor es la diferencia existente entre los grupos (índice de *variación*), más se puede esperar que los diversos tratamientos aplicados hayan sido efectivos." En caso de que encontremos poca o escasa *variación*, tendríamos que concluir que no ha habido influencia alguna de la variable independiente.

La *varianza secundaria* consiste, por su parte, en una desviación sistemática de los datos obtenidos de la medición de la variable dependiente debida a la intervención de un factor "extraño" a los propósitos de la investigación. En muchos casos este factor es conocido y desvía los datos según una cantidad constante, por lo que no altera ni interfiere la *variación* buscada por el experimentador. Supóngase que se intenta establecer la relación entre *cantidad de recompensa* y *velocidad de recorrido*. Una variable que, sin duda, puede influir en los resultados, es la longitud del laberinto. Ahora bien, puesto que para todos los sujetos dicha variable es la misma, su posible acción distorsionadora no interfiere con los efectos de los diversos valores de la variable independiente o cantidad de recompensa por no afectar a todos los sujetos.

Puede ocurrir también que la variable extraña se combine o interactúe con la variable independiente, aumentando o disminuyendo la desviación de los datos, con lo que nos encontraremos con datos contaminados, dado que ignoramos si la *variación* que presentan se debe propiamente a la variable independiente o a la acción conjunta de la variable independiente con la extraña.

El criterio que hemos establecido de *varianza primaria* y *varianza secundaria* obedece, fundamentalmente a los fines de la investigación. Tanto la *varianza primaria* como la *secundaria* tienen su origen en las condiciones antecedentes de los fenómenos conductuales. Por esta razón, suele ocurrir que un investigador se halle interesado en analizar una fuente de *variación primaria*, y compruebe que es más importante una fuente de *variación secundaria*. Esto puede llevarle a cambiar su plan de investigación.

VARIANZA DEL ERROR

Se podría definir la *varianza del error* como el conjunto de fluctuaciones que presentan las medidas como consecuencia de la *variación del azar*. Estas variaciones tienden a autocompensarse, de manera que su medida es igual a cero. La *varianza del error*, a diferencia de la *varianza sistemática*, es absolutamente impredecible.

En cuanto a las posibles fuentes de la varianza del error, podemos señalar las siguientes:

a) Por un lado tenemos las diferencias individuales. Es evidente que no todos los sujetos reaccionan de una misma forma ante una situación experimental idéntica; no obstante, dado que las diferencias individuales tienden a dispersar los resultados en sentidos totalmente dispares, esta varianza se considera debida al error.

b) Por otra parte, una segunda fuente de variación del error procede de los *errores de medida*. En ocasiones, se utilizan instrumentos de medida poco precisos, o el procedimiento experimental no se aplica por igual a todos los sujetos, o bien, las instrucciones han sido dadas por diferentes experimentadores. El conjunto de estos factores no hace sino aumentar la variación de los datos, lo cual dificulta la *separación* de la varianza debida a la variable experimental.

EJEMPLO DE VARIANZA SISTEMÁTICA Y VARIANZA DEL ERROR

Supongamos que a un profesor le interesa saber si un comentario crítico, junto a la nota de los ejercicios de los alumnos, es más efectivo que la simple nota, es decir, si los comentarios críticos ejercerán un efecto positivo en el rendimiento de los escolares.

Utilizaremos la letra *A* para denotar la variable independiente, donde *A*₁ y *A*₂ son los valores considerados, es decir, *A*₁ igual a *comentario crítico* y *A*₂ igual a *sin comentario crítico*. Para ello, el profesor elige al azar un grupo de 10 estudiantes y los asigna, también al azar, a uno de los dos tratamientos experimentales. A continuación estudia el rendimiento de ambos grupos durante una semana, al cabo de la misma obtiene las puntuaciones que se muestran en la tabla 8.2.

Tabla 8.2. Datos hipotéticos del experimento de dos grupos de tratamiento

Grupos de tratamiento	
<i>A</i> ₁	<i>A</i> ₂
9	3
5	1
6	5
8	4
7	2
$\bar{X} = 7$	$\times 3$

Calculemos la varianza intergrupos (tabla 8.3).

Tabla 8.3. Cálculo de la varianza intergrupos

	\bar{X}	<i>x</i>	<i>x</i> ²
<i>A</i> ₁	7	2	4
<i>A</i> ₂	3	-2	4

$$\bar{X}_t = 5$$

$$\Sigma x^2 = 8$$

$$V_{intergrupos} = \frac{8}{2} = 4.$$

Hemos calculado la varianza entre medias como si se tratara de puntajes directos. Ahora calcularemos la varianza a partir de los puntajes directos (tabla 8.4).

Tabla 8.4. Cálculo de la varianza total

<i>X</i>	<i>x</i>	<i>x</i> ²
9	4	16
5	0	0
6	1	1
8	3	9
7	2	4
3	-2	4
1	-4	16
5	0	0
4	-1	1
2	-3	9

$$\Sigma X = 50$$

$$\bar{X}_t = 5$$

$$\Sigma x^2 = 60$$

$$V_{total} = \frac{60}{10} = 6.$$

En efecto, la varianza total (*V*_t), la que contienen todas las fuentes de variación de los datos (las sistemáticas y las debidas al azar) es igual a 6.

Puesto que ya conocemos un componente de esta varianza (la varianza intergrupos, en el caso que nos ocupa, la varianza experimental), podemos pasar al cálculo de la varianza del error.

Para ello calcularemos la variación que se produce dentro de cada grupo en torno de sus respectivas medias y, a continuación, hallaremos el valor promedio de estas dos variaciones (tabla 8.5).

Tabla 8.5. Cálculo de la varianza del error

A_1	x	x^2	A_2	x	x^2
9	2	4	3	0	0
5	-2	4	1	-2	4
6	-1	1	5	2	4
8	1	1	4	1	1
7	0	0	2	-1	1
$\Sigma X = 35$			15		
$\Sigma x^2 =$		10			10

$$V_{\text{error } (a_1)} = \frac{10}{5} = 2;$$

$$V_{\text{error } (a_2)} = \frac{10}{5} = 2;$$

$$V_{\text{error intragrupo}} = \frac{2 + 2}{2} = 2.$$

Tenemos, pues, que la varianza del error para A_1 es 2, y para A_2 también es 2. El valor promedio de estas dos varianzas es 2; este valor suele recibir el nombre de varianza intragrupo. Es interesante destacar que en el cálculo de la varianza intragrupo no se ha considerado la diferencia entre las medidas de los dos grupos y, consecuentemente, la varianza intergrupos.

A partir de lo establecido, podemos establecer la ecuación general de la varianza en los siguientes términos:

$$V_{\text{total}} = V_{\text{intergrupos}} + V_{\text{intragrupos}}.$$

Es decir,

$$6 = 4 + 2.$$

En virtud de este principio, es obvio que todo investigador intentará buscar, mediante la aplicación de los tratamientos, una máxima varianza intergrupos, lo cual repercute directamente en la reducción de la varianza intragrupo. Por ello, podemos afirmar que los objetivos básicos de toda investigación consistirán en la maximización, dentro de las posibilidades prácticas, de la varianza sistemática debida a la variable experimental; en el control de la varianza sistemática debida a fuentes extrañas, y por tanto, no pretendidas; por último, en la minimización,

de la varianza debida al error. Si realmente pretendemos comprobar las hipótesis, se deberá tener en cuenta uno de los aspectos más importantes de la mecánica básica de la experimentación. Este aspecto podríamos definirlo como: *control de la varianza*.

En resumen, diremos que el experimentador, al elaborar un plan de investigación adecuado deberá proponerse lo siguiente: a) maximizar la varianza debida a las variables implicadas en su hipótesis básica; b) controlar la varianza de las variables extrañas y ajenas a su trabajo, y c) minimizar la varianza del error.

MAXIMIZACIÓN DE LA VARIANZA PRIMARIA

Uno de los objetivos básicos del experimentador al diseñar un experimento es conseguir que los cambios operados en la variable dependiente sean atribuibles a los diversos tratamientos experimentales. Si la variable independiente varía concomitantemente con una serie de factores asociados a ella, se corre el peligro de interpretar erróneamente la variación pretendida por el experimentador. Por otra parte, sabemos que la variación total de los resultados depende de una serie de fuentes de variación. Ello implica que si pretendemos obtener la máxima información, a partir de la variabilidad de los datos, sobre las condiciones experimentales, no sólo deberemos controlar hasta donde sea posible las fuentes restantes de variación, sino también, potenciar al máximo la diferencia entre las condiciones experimentales. Si aumentamos el poder de acción de la variable independiente, será más fácil discriminar la variación primaria del resto de la varianza total.

Uno de los procedimientos que se pueden emplear para la maximización de la varianza primaria consiste en la *elección de valores extremos* de la variable independiente. Existen variables cuyos valores extremos vienen determinados de una forma natural, como por ejemplo el sexo; sin embargo, no siempre ocurre así; entonces deberemos seleccionarlos. Si, por ejemplo, estamos interesados en conocer la relación existente entre *ansiedad* y el *rendimiento motriz*, eligiéremos los valores extremos de la variable ansiedad. En efecto, podemos pasar a un grupo de individuos un cuestionario de ansiedad (como por ejemplo, el de Catell), eligiendo aquellos sujetos que se encuentren a dos sigmas por encima y por debajo de la media. De esta forma, habremos formado un grupo de sujetos de ansiedad alta y otro, de ansiedad baja.

En casos en los que la relación entre la variable independiente y dependiente no es lineal, sino curvilínea (\cap) no conviene escoger valores muy distantes de la variable independiente, puesto que no llegaría a diferenciar sistemáticamente los resultados. Se deberán elegir los valores óptimos, es decir, no los valores extremos, sino valores intermedios. Si se

considera, por ejemplo, la relación entre *arousal* y *resolución de problemas complejos*, nos encontraremos que la utilización de valores extremos de arousal (alto y bajo arousal), ejerce el mismo efecto en la variable dependiente. En efecto, tanto los sujetos muy activados como los poco activados suelen resolver muy pocos problemas, por lo cual deberemos elegir valores de arousal intermedios (para tal efecto recuérdese la ley de Yerkes-Dodson, 1908).

El experimentador no siempre conoce los valores óptimos de la variable independiente. Al elegir, de un modo arbitrario, dos valores cualesquiera se expone a no llegar a conclusión alguna (si, como hemos dicho, la relación existente entre las variables es curvilínea). Así pues, preferible utilizar varios valores de la variable independiente (procedimiento conocido con el nombre de investigación paramétrica); con esta técnica, el experimentador no sólo tendrá la posibilidad de conseguir valores óptimos, sino que poseerá una información más adecuada sobre el tipo de relación existente entre las variables.

CONTROL EXPERIMENTAL

En todo experimento psicológico se presenta una serie de influencias extrañas, ajenas al experimentador, que pueden llegar a influir decisivamente en la variación total de las medidas. El propósito del experimentador será, en este caso, eliminarlas o neutralizarlas, es decir, controlarlas.

Se ha dicho a menudo que la situación ideal de experimentación es la del laboratorio. La razón estriba en que en el laboratorio se puede llegar a controlar una gran cantidad de variables extrañas (familiaridad con la situación experimental, constantes orgánicas, horas de sueño, ruidos, etc.). A pesar de todo, quedan siempre algunas que escapan a dicho control.

La varianza secundaria puede ser, también, efecto de un instrumento de medida poco fiable. Un sistema de medida no fiable puede distorsionar los datos en cierta dirección. Tampoco podemos olvidar que, en muchas ocasiones, es el propio experimentador el que distorsiona sistemáticamente los datos. El deseo de querer probar su hipótesis puede llegar a alterar el contenido objetivo de los resultados (Rosenthal, 1966).

La idea de control se halla a menudo relacionada con la reducción o eliminación de la varianza secundaria. Si bien hemos de admitir que una de las acepciones más corrientes del control es ésta, no obstante, el concepto de control es mucho más amplio. A continuación, presentaremos las principales funciones del control en psicología experimental, así como las técnicas de control más importantes que puede utilizar el experimentador.

EXPERIMENTACIÓN Y CONTROL: TÉCNICAS DE CONTROL

Uno de los términos más íntimamente asociado a la práctica experimental es, sin duda, el de *control*. Se podría, incluso, caracterizar la experimentación en función de las diversas formas de control que se aplican a la situación sometida a estudio. Dada, pues, la amplitud de este término, es necesario que precisemos cuáles son los objetivos más importantes que se logran mediante la utilización del control (Boring, 1954):

a) Mediante el control se pretende en primer lugar, eliminar o bien neutralizar los posibles efectos de las variables extrañas a los objetivos de la investigación. Esto se consigue, como veremos inmediatamente, a través de una serie de técnicas.

b) El término control se utiliza también en el sentido de introducir en la situación experimental los diversos valores de la variable independiente. Esta noción de control es sinónima de *manipulación*. En efecto, muchas veces no sólo nos interesa conocer si realmente una variable actúa o no en los resultados, para cuyo efecto diseñamos un experimento con un grupo control, sino también en qué medida los resultados quedan afectados por los diferentes valores que toma la variable experimental.

c) Por último, podemos señalar un tercer nivel de control, que raramente se consigue en las investigaciones conductuales. Este tercer nivel tendría por objeto lograr una expresión cuantitativamente exacta del efecto de la variable independiente. Esto constituye el más alto grado de control. A este nivel no sólo se pretende conocer si la variable experimental afecta, en mayor o menor grado, la variable dependiente, sino la expresión matemática de dicha relación.

Establecidos los objetivos básicos del control, presentaremos una clasificación de las principales formas y técnicas de control. Dividiremos las técnicas de control en tres grandes grupos lo suficientemente amplios como para abarcar cualquier tipo concreto de control que se utiliza actualmente en la investigación experimental. Así pues, según el grado de intervención del experimentador sobre las variables, podemos dividir las técnicas de control en *manipulativas*, *selectivas* y *estadísticas*.

Técnicas manipulativas

En las técnicas manipulativas la intervención del experimentador es total. A su vez, dichas técnicas implican, por parte del experimentador, un conocimiento claro de las variables extrañas a controlar. Hemos de advertir que este tipo de técnicas son difícilmente utilizables en la investigación conductual y sólo las encontraremos en las investigaciones propias de laboratorio. Los principales procedimientos que se utilizan en las técnicas manipulativas son los siguientes:

1. **Procedimientos mecánicos.** Éstos suelen utilizarse en las investigaciones de laboratorio, sobre todo para el estudio de las condiciones y formas de aprendizaje. Así, por ejemplo, suele emplearse el *tambor giratorio* para el estudio del aprendizaje verbal; el *rotor de prosecución* para el estudio del aprendizaje motor; el *taquitoscopio* para los diversos fenómenos perceptuales y actitudinales, etc.

2. **Procedimientos eléctricos.** Éstos suelen emplearse para la presentación de estímulos, como luces o ruidos; o bien, para la medición de la conducta, como por ejemplo, los registradores de tiempo, contadores de errores, medición de los tiempos de reacción, etc.

3. **Procedimientos quirúrgicos.** Son propios de la investigación neurológica, como los experimentos sobre cerebros (descerebración o ablación de áreas cerebrales de gatos, monos, etc.); extirpación de glándulas (tiroides, suprarrenales, gónadas, etc.) en animales.

4. **Procedimientos bioquímicos.** Utilización de drogas (como la dilantina para el tratamiento de la epilepsia); cambios de dieta, para el posible control de los determinantes bioquímicos de la conducta.

Técnicas selectivas

Gracias a las técnicas selectivas el investigador es capaz de controlar variables que de otro modo hubiese resultado imposible. En efecto, mediante tales técnicas se pueden seleccionar tareas y materiales según las exigencias de la investigación; de esta forma se logran resultados adecuados. Entre las posibles técnicas selectivas podemos señalar las que se aplican a los materiales, a los sujetos y a los datos.

1. **Selección de materiales.** Una forma de controlar las variables conductuales se logra mediante la selección de materiales o tareas a realizar. Así, por ejemplo, en el campo del aprendizaje, se pueden estudiar los diversos rendimientos en función de tareas más o menos difíciles, en función de la distribución de las mismas, o en función de su longitud.

2. **Selección de sujetos.** Esta es quizá una de las técnicas más ampliamente utilizadas en la investigación conductual. Gracias a ella se logra controlar diferentes variables que serían totalmente imposibles de controlar mediante manipulación física. Así, gracias a la selección de sujetos se suele controlar variables como sexo, edad, experiencia pasada, inteligencia, estado social, rasgos de personalidad, intereses, etc., cuya influencia en la conducta ha sido demostrada en multitud de investigaciones.

3. **Selección de datos.** Mediante este procedimiento, cuyas fuentes más importantes son los archivos de las instituciones, las estadísticas demográficas, los censos de escolarización, etc., el investigador puede

estudiar la influencia de diversos factores en la conducta. Fijémonos que este tipo de estudios depende fundamentalmente del grado de confianza que nos merecen los datos así recogidos y, por tanto, la precisión y validez de los mismos se hallan totalmente condicionados a aquéllos.

Técnicas estadísticas

La manipulación estadística amplía el ámbito de utilización del control más allá de lo que nos permiten los procedimientos anteriores. Los controles de tipo estadístico son particularmente eficaces para aquellas situaciones en que la conducta se presenta con gran complejidad y, consiguientemente, es difícil lograr un aislamiento de las condiciones determinantes de dicha conducta. Por otra parte, mediante este tipo de control poseemos un sistema que nos permite valorar la importancia de la acción de cada uno de esos factores sobre la conducta.

Así, para casos en los que la manipulación física o selectiva no se muestra como un procedimiento eficaz para aislar los factores que globalmente inciden en la conducta, el procedimiento estadístico constituye, por el momento, una forma de control de valor inestimable.

Para la utilización de los procedimientos de control estadístico deberán cumplirse dos condiciones básicas: 1. Que las variables que se sometan a control puedan medirse, es decir, que los datos obtenidos de las mismas se puedan agrupar de acuerdo con criterios previamente establecidos. Si, por ejemplo, nos interesa estudiar el efecto que diversos métodos de enseñanza ejercen en el rendimiento escolar, teniendo en cuenta el sexo y la edad, con objeto de controlarlas, deberemos reunir los datos en función de las categorías que se deriven de ellas. Sólo así, y en virtud de un adecuado análisis estadístico, seremos capaces de determinar el posible efecto del sexo y la edad en los resultados escolares. 2. Que la investigación sea planificada de modo que nos permita calcular la variación no sistemática o debida al error (error experimental y error de muestreo).

Los procedimientos estadísticos de control que para estos efectos suelen utilizarse con una mayor frecuencia son: el método de correlación parcial, que mide el grado de relación existente entre dos variables cuando se mantiene constante el efecto de las variables pertinentes restantes y el análisis de la varianza (siendo una ampliación del mismo el análisis de la covarianza).

CONTROL DE LA VARIANZA SECUNDARIA

Hemos presentado un esquema general de las principales técnicas de control, aplicables en el sentido más amplio que hemos conferido al tér-

mino. Ahora bien, al control se le suele encontrar muchas veces asociado con el concepto de "neutralización y eliminación de la varianza secundaria". O sea, de todos aquellos factores que intervienen en cualquier experimento y que pueden llegar a contaminar el efecto de la variable experimental. Entre las más importantes técnicas de control de la varianza secundaria tenemos:

1. **Eliminación de la variable extraña.** En situaciones de laboratorio se puede llegar a controlar una gran cantidad de variables extrañas, mediante la técnica de *eliminación*. Para ello se suele utilizar cámaras insonorizadas, pantallas de interposición, etc.

Si, por otra parte, las variables a eliminar son de carácter orgánico como el sexo, la raza, la edad, etc., se puede llevar a cabo el experimento en función de un solo sexo, de un determinado tipo de raza, de una misma edad, etc. De ello se deduce que cuando la eliminación física de la variable extraña no es posible, se pueden seleccionar los sujetos de acuerdo con algún criterio previo. Ahora bien, debemos tener en cuenta que cuando se elimina una variable mediante selección de sujetos, limitamos el poder generalizador de los resultados y, por tanto, las hipótesis pierden su capacidad predictiva.

2. **Manteniendo constante la variable independiente extraña.** Existe una serie de factores secundarios como el peso corporal, la temperatura, la hora del día, la luz, etc., que no deben ser eliminadas totalmente de la situación experimental, puesto que la variación de estos factores puede comprometer los resultados, es posible utilizar el procedimiento de "mantenerlos constantes" a lo largo de la prueba. Así, las tareas deberán realizarse a la misma hora del día o se asegura, mediante un fotómetro, que la cantidad de luz sea siempre la misma, etc.

3. **Aleatorización o selección al azar.** Teóricamente, mediante este sistema se controla la totalidad de variables extrañas. La aleatorización nos asegura que todos aquellos factores que pueden influir en el fenómeno observado, tienen una misma oportunidad de actuar en la situación experimental. Por esta razón cuando se ha formado una serie de grupos experimentales según el criterio al azar, son considerados estadísticamente equivalentes (siempre que los grupos tengan una cantidad de elementos suficientemente grande). Esto no quiere dar a entender que la aleatorización de todos los grupos vaya a ser igual con respecto a todas las variables extrañas; no obstante, si se ha llevado a cabo una adecuada aleatorización, la probabilidad de que sean iguales es mayor que la probabilidad de que sean desiguales. De ahí que la selección al azar sea considerada como la mejor técnica de control.

Para llevar a cabo una aleatorización completa deberemos seleccionar, en primer lugar, los sujetos y asignarlos a los grupos al azar; en

segundo lugar, también deberemos observar el criterio al azar en la aplicación de los diversos tratamientos experimentales.

4. **Sistematización de la variable extraña.** Esto se consigue cuando al planificar un experimento la variable extraña se toma como una variable experimental. Supongamos que un investigador desea conocer si las ratas son más activas en la luz que en la oscuridad; si mediante otro experimento ha comprobado que existe diferencia de sexo con respecto a la deambulación en periodos de luz y oscuridad, la variable sexo se convierte en un factor importante. Si la elimina utilizando ratas del mismo sexo, los resultados no podrán generalizarse o pierden información valiosa. Una posible solución consistiría en equilibrar los grupos con igual cantidad de machos y hembras. Ahora bien, si se diseña un experimento en que el *sexo* se convierta en una variable independiente, se consigue mayor información que con método de "equilibrado".

Partamos del supuesto de que el investigador dispone de 10 machos y 10 hembras, y forma, al azar, dos grupos de cinco machos y cinco hembras de acuerdo con el siguiente esquema experimental:

Esquema experimental

	Luz	Oscuridad
Hembras	5 (A)	5 (C)
Machos	5 (B)	5 (D)

El experimento tendría cuatro subgrupos de sujetos: dos subgrupos para la condición *luz* (el *A* con cinco hembras, y el *B* con cinco machos); y dos subgrupos para la condición *oscuridad* (el *C* con cinco hembras, y el *D* con cinco machos). A fin de comprobar el efecto de la variable *luz* se pueden combinar los resultados en *A* y *B*, y compararlos con los resultados conjuntos de los subgrupos *C* y *D*. De hecho, consiste en comparar los totales de las columnas. De igual modo se podría hacer en relación con los totales de las filas. Mediante esta disposición se ha sistematizado la variable *sexo*, pudiéndose medir su eficacia en los resultados del experimento.

5. **Apareamiento de sujetos.** Este procedimiento puede ser considerado como una derivación del anterior. Con él se pretende también el control de la varianza secundaria. Consideremos, por ejemplo, un experimento en el que se desea estudiar la relación entre *método de estudio* y *aprendizaje de las matemáticas*. Una de las variables más importantes que puede interferir en los resultados es, sin duda, el cociente

intelectual. A fin de controlar dicha variable se pueden seleccionar pares de sujetos con un mismo CI, y asignarlos al azar, a cada uno de los grupos de estudio. De esta forma tendremos los mismos CI, tanto para un grupo como para otro.

Deberemos tener en cuenta, a fin de aplicar correctamente la técnica de apareamiento, que la variable elegida para la formación de los grupos apareados (variable de apareamiento) presente una relación muy alta con la variable dependiente, ya que cuanto mayor sea la correlación, tanto más eficaz es el método.

El procedimiento de control de apareamiento implica, por otra parte, un grave inconveniente. Puesto que si se tienen en cuenta más de una variable para la formación de los grupos, la posibilidad de encontrar sujetos con características similares queda automáticamente reducida; no obstante, siempre que las condiciones experimentales nos lo permitan es aconsejable emplear dicho procedimiento a fin de asegurar la equivalencia de los grupos.

6. **El sujeto como control propio.** Este procedimiento puede también considerarse como una consecuencia lógica del razonamiento anterior. La forma ideal en que las diferentes variables extrañas actúan de una forma igual en cada uno de los tratamientos, es utilizar el mismo sujeto para las diferentes condiciones experimentales. Este procedimiento suele utilizarse en situaciones de aprendizaje, efecto de drogas, etc., siempre que la acción de los tratamientos se elimine con el tiempo, puesto que en caso contrario podría aparecer el error *progresivo*, o posible efecto facilitador o entorpecedor de las condiciones anteriores sobre las posteriores. El error progresivo es propio de los experimentos secuenciales, donde pueden producirse efectos de orden.

7. **Control del error progresivo.** Supongamos que nos interesa conocer la influencia del *significado de las palabras*, en la *retención* de las mismas. Para ello confeccionamos una lista de 20 palabras sin sentido, y otra, de características similares, de palabras con sentido. Para evitar una serie de dificultades (sujetos con buena o mala memoria, capacidades específicas para la retención de palabras concretas, imposibilidad de contar con una gran cantidad de sujetos, etc.) se decide efectuar la prueba en las dos condiciones y a los mismos sujetos.

A fin de controlar el posible *error progresivo* utilizaremos la técnica del *contrabalanceo*. El contrabalanceo permite que las diferentes presentaciones posibles de orden ocurran con la misma frecuencia. En efecto, podemos dividir el grupo de sujetos en dos mitades. La primera mitad deberá pasar la prueba primeramente en la condición de *lista de palabras con sentido* y en seguida con la condición *lista de palabras sin sentido*. La segunda mitad, deberá pasar la prueba con el orden invertido. De

esta forma se habrá conseguido neutralizar el posible *efecto de orden* y corregir el error *progresivo*.

8. **Técnica del grupo control.** La técnica del grupo control es una de las exigencias más importantes, no sólo para el procedimiento experimental, sino también para cualquier tipo de procedimiento con el que se pretendan obtener datos científicos. Mediante el grupo control, o grupo de características similares al grupo experimental, con excepción de la variable que se halla en estudio, se consiguen controlar todas las posibles fuentes de contaminación de resultados.

Analicemos un ejemplo sencillo. Imagínese un experimento con el que se pretenda comprobar el efecto de la cafeína en la comprensión de la lectura. Una forma incontrolada que responde a la cuestión consistiría en pedir a una serie de sujetos que bebieran café, pasándoles a continuación un test de comprensión. Un sistema más adecuado que cumple con las exigencias mínimas de la experimentación consistiría en tomar medidas de comprensión de lectura después de haber sometido a dos grupos de sujetos a condiciones diferentes: en la primera condición (condición experimental) un grupo de sujetos tomaría café normal antes de ser sometidos a la prueba de lectura; en la segunda condición (condición control), otro grupo, tomaría café descafeinado. Al comparar las puntuaciones de ambos grupos en relación con el test, se podría obtener alguna conclusión válida, siempre que en la formación de los grupos se hubiesen observado los presupuestos de aleatorización y número suficientemente amplio.

Con la técnica de grupo control se pretende formar dos grupos de sujetos, similares en relación con todas las posibles fuentes de distorsión sistemática, a excepción de la que nos interesa. Esta es una de las razones por las que dicha técnica reciba el nombre de equilibrio o balanceo de grupos.

9. **El control estadístico.** Si bien ya se han señalado las ventajas del control estadístico, sólo añadiremos que dicho control se halla íntimamente relacionado con el diseño de experimentación. El control estadístico se logra mediante la separación y cuantificación de las varianzas. Esta es una de las razones por las que, actualmente, la investigación experimental va utilizando con mayor frecuencia los diseños factoriales, que nos permiten tener en cuenta una mayor cantidad de variables independientes.

MINIMIZACIÓN DE LA VARIANZA DEL ERROR

Varianza del error se podría definir como la fluctuación inconsistente de las medidas de la variable dependiente. Esta variación es el fruto

de una multiplicidad de factores imponderables que pueden hacer variar los datos tanto en un sentido como en otro. El experimentador deberá reducir al máximo este tipo de error si pretende obtener una serie de resultados significativos.

Se puede afirmar que son dos las principales fuentes de la varianza del error. Por un lado se tienen las diferencias individuales, cuya forma de reaccionar a las condiciones experimentales es totalmente imprevisible. Los sujetos se encuentran siempre afectados por una serie de variables, tanto orgánicas como ambientales, cuyo control absoluto es totalmente imposible. Otra fuente importante de error procede de los métodos utilizados para registrar y cuantificar los resultados. Son los llamados errores de medida.

La minimización de la varianza del error se consigue si se observan dos supuestos básicos de la experimentación: a) El primer supuesto implica la aplicación de las condiciones experimentales en situaciones totalmente controladas. Con ello se consigue reducir la posibilidad de que los factores incontrolados operen al azar. b) El segundo, exige la aplicación de instrumentos de medida precisos. Cuanto más ajustadas y precisas sean las medidas, se podrá calcular mejor la varianza sistemática, con la consecuente reducción de la varianza del error.

Por otra parte, con la minimización de la varianza del error, aumenta la probabilidad de comprobar los efectos supuestos en la hipótesis (siempre que tales supuestos sean reales). Puede presentarse el caso, y así sucede, que entre los tratamientos exista una diferencia significativa; pero debido a la utilización de instrumentos imprecisos de registro, o a la ineficacia del control, no se pueda llegar a demostrar la hipótesis experimental. Consideremos de nuevo el principio fundamental de la varianza:

$$V_{\text{total}} = V_{\text{intergrupos}} + V_{\text{intragrupo (o del error)}}$$

Según el principio anterior, la varianza total es igual a la suma de la varianza primaria (intergrupos) y la varianza del error (intragrupo). De ello se infiere que al aumentar la varianza del error disminuye automáticamente la varianza primaria, con lo que la posibilidad de que dicha varianza sea significativa queda totalmente reducida.

La lógica de toda prueba de significación estadística se reduce a la siguiente razón:

$$\text{Prueba estadística} = \frac{\text{estadístico}}{\text{error característico del estadístico}}$$

Puesto que la prueba de la hipótesis se fundamenta básicamente en el razonamiento anterior; en todo experimento deberemos conseguir no

sólo una medida exacta de la acción de los procedimientos experimentales (recogida por el numerador), sino también una estimación ajustada y precisa de los errores al azar (el denominador de la ecuación). En última instancia, la significación depende tanto de la magnitud o tamaño del numerador, como del tamaño o magnitud del denominador. La eficacia de los tratamientos, como el rigor del control, constituyen los elementos básicos de cualquier prueba de significación.

RESUMEN

En este tema se ha tratado uno de los aspectos más importantes relacionados con la prueba de hipótesis y la obtención de resultados significativos: la varianza y su control. La varianza se caracteriza por la serie de cambios y fluctuaciones que se presentan en un conjunto de datos tomados de situaciones experimentales. Hemos dividido la varianza en dos grandes categorías: *varianza sistemática* y *varianza del error*. A su vez, la varianza sistemática ha sido dividida en *primaria* y *secundaria*. Se entiende por varianza primaria, la varianza pretendida que refleja los cambios de los valores introducidos en la situación experimental. La varianza secundaria tiene su origen en una serie de factores independientes extraños que pueden llegar a contaminar, en forma decisiva, los resultados.

Por su parte, la varianza del error abarca el conjunto de fluctuaciones que son consecuencia de factores imprevisibles y, por tanto, difíciles de controlar. Un buen plan experimental deberá alcanzar los siguientes objetivos: a) maximizar la varianza producida por los tratamientos experimentales; b) controlar la varianza extraña, debida a factores espurios, y c) minimizar al máximo los errores al azar.

Después se propusieron unos criterios para lograr la maximización de la varianza primaria: a) elección de valores extremos de la variable independiente y b) utilización de los valores óptimos.

En relación con la varianza secundaria, se han presentado las principales técnicas de control, dejando sentado que el término control tiene un significado mucho más amplio. Las principales técnicas de control de la varianza secundaria son las siguientes: eliminación de la variable extraña; mantenimiento constante de la variable extraña; aleatorización; sistematización de la variable contaminante; apareo de sujetos; el sujeto como su propio control; contrabalanceo; grupo control y control estadístico.

Por último, se ha discutido la varianza del error, señalando los principales criterios para su minimización.