

EL ERROR EXPERIMENTAL EN LA INVESTIGACION CIENTIFICA: CUANTIFICACION DE ELEMENTOS CONTRIBUYENTES

Miguel A. Guzmán ¹

El error experimental es una realidad que preocupa a todo investigador. A pesar de ello, no siempre se presta debida atención a su control y estimación en términos de sus componentes. Investigaciones del INCAP ilustran técnicas útiles para la estimación y control del error experimental para tres clases de procedimientos de medir. Como se ilustra en este trabajo, tales estudios han permitido reducir considerablemente el monto del error de medida, mantener los bajos niveles logrados, y establecer un alto grado de concordancia en las observaciones de distintos investigadores.

Introducción

En general, todo investigador reconoce la existencia del error experimental, pero no siempre está dispuesto a invertir el esfuerzo y tiempo requeridos para su cuantificación. Se conforman con introducir medidas de control en el proceso de investigación, tratando así de reducir el monto del error experimental, y validar los resultados de su experiencia.

Las medidas de control en referencia incluyen, entre otras: a) el uso de material experimental homogéneo y muy sensible a los efectos bajo investigación; b) el control de factores externos al asignar las unidades experimentales a los tratamientos (agrupación y aleatorización); c) la asignación de un "buen" número de unidades a los distintos grupos experimentales, y d) el refinamiento de las técnicas aplicadas en la investigación.

En el presente trabajo se considerará en algún detalle la última de las medidas de control mencionadas, ya que en nuestra experiencia aquella recibe menor atención específica porque usualmente se aceptan los procedimientos documentados en la literatura, sin cuantificar su confiabilidad bajo condiciones específicas. Es importante señalar que la situación descrita generalmente

resulta en el uso de un número de unidades experimentales mayor del requerido, con el consiguiente aumento en los costos de la experimentación.

Con miras a ilustrar los procedimientos aplicados para este fin, se usarán algunos resultados relacionados con estudios del error experimental, realizados en el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). Los datos que se presentan se derivan del estudio de los procedimientos usados para dosificaciones en el laboratorio, toma de medidas antropométricas y cuantificación visual directa de lesiones ateroscleróticas en material de autopsia.

Variación aparente

Los ejemplos que se citan fueron escogidos intencionadamente con el propósito de ilustrar variabilidad y error experimental bajo distintas condiciones de medida. El primer ejemplo se origina de medidas cuantitativas efectuadas con instrumental de cierta complejidad, operado por técnicos de experiencia y bien calificados. El segundo ejemplo se deriva de medidas cuantitativas usando instrumentos manejados por personal técnico de diferente capacitación y experiencia. Finalmente, el tercer ejemplo se origina de medidas subjetivas, pseudocuantitativas, realizadas sin ayuda instrumental por personal

¹Jefe, División de Estadística, Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), Guatemala.

altamente calificado y adiestrado específicamente.

La naturaleza de la variabilidad aparente en cualquiera de las tres categorías de medidas consideradas se ilustra en el cuadro 1. Los datos se refieren a las medidas específicas siguientes:

1. Determinaciones del contenido de vitamina A por el método de Bessey y colaboradores (1) en 10 alícuotas de un mismo agregado de suero, en dos días consecutivos.
2. Medida del perímetro del brazo izquierdo en 10 sujetos, por dos investigadores, siguiendo técnicas establecidas (2).
3. Apreciación visual en 10 aortas abdominales, del porcentaje de la íntima involucrado con lesiones ateroscleróticas avanzadas. Las estimaciones las realizó un solo investigador en tres ocasiones distintas, siguiendo el método descrito por Guzmán y colaboradores (3).

Las cifras consignadas en el cuadro 1 ilustran claramente que la variabilidad es una característica de cualquier tipo de medida que se realice, y que el equipo o procedimientos usados modifican el comportamiento de tal variabilidad.

Consideraciones preliminares

Las cifras incluidas en el cuadro 1, correspondientes a la determinación de vitamina A,

indican que la dispersión de los valores determinados para las 10 alícuotas del agregado de sueros son semejantes en las dos sesiones consideradas (de 53 a 57 y de 56 a 59 μg , respectivamente). La dispersión de valores para una misma alícuota en las dos sesiones, sin embargo, tiende a ser mayor que la dispersión de valores para el agregado de suero analizado en una sesión dada; esto indica que hay factores asociados con la sesión, o día de análisis, que deben considerarse también como componentes del error experimental.

En el caso de las medidas del perímetro del brazo y el porcentaje de superficie de la íntima de la aorta abdominal afectada por lesiones ateroscleróticas, la dispersión de valores entre distintos sujetos refleja variabilidad inherente a la clase de sujetos que se miden y, en este caso particular, podría llamarsele variabilidad debida a causas biológicas. Por otra parte, tanto las diferencias en las medidas del perímetro del brazo correspondientes al mismo sujeto, como la dispersión de los porcentajes estimados del área de la íntima de una misma aorta afectada por lesiones ateroscleróticas, son expresiones de la variabilidad asociada con los procedimientos de medir que se utilizaron y, en conse-

CUADRO 1—Variabilidad aparente en mediciones de diferente naturaleza realizadas con distintas metodologías básicas y escalas de medir.

Número de muestra	Bioquímica		Antropometría		Aterosclerosis		
	Vitamina A ($\mu\text{g}/100\text{ ml}$)		Perímetro del brazo (cm)		Íntima lesionada %		
	1	2	1	2	1	2	3
1	54	56	27.9	26.4	55	42	52
2	55	57	38.1	27.0	85	72	76
3	55	57	26.9	24.7	40	36	42
4	54	59	28.0	27.0	36	40	40
5	56	56	35.5	33.0	98	85	72
6	55	57	27.8	27.8	27	39	25
7	57	57	30.3	30.0	42	36	39
8	56	58	27.6	26.5	81	72	95
9	53	58	28.8	30.0	43	44	60
10	54	58	26.4	27.0	98	98	98
Promedios	55	57	29.7	27.9	68	56	60

Nota: Para definiciones, véase el texto.

cuencia, deben considerarse como componentes del error experimental.

En estos dos últimos casos, sin embargo, los componentes de error experimental tienen distinto origen. En el caso del perímetro del brazo, las diferencias entre estimaciones para un sujeto dado reflejan discordancia en las medidas realizadas por distintos investigadores; por otro lado, la dispersión en las estimaciones de los porcentajes de íntima afectada por lesiones ateroscleróticas en una misma aorta, refleja discordancia en las estimaciones realizadas por el mismo investigador. En ambos casos, las discrepancias apuntadas conllevan además un componente de variabilidad atribuible al instrumento de medir que se usó. Parece, pues, que el error experimental constituye un agregado de varios componentes. Algunos de estos se originan del instrumento de medir propiamente dicho; otros se deben al elemento humano que lo utiliza y al procedimiento mismo que se aplica al realizar las medidas o estimaciones que interesan. Para cuantificar el error experimental es evidente la necesidad de considerar distintas fuentes y establecer sistemas para estimar distintos componentes específicos. La estimación de los componentes del error experimental será útil no sólo para valorar los resultados experimentales sino también para el propósito de establecer diseños experimentales mejorados.

A continuación se presentan algunos resultados prácticos correspondientes a las tres categorías de información escogidas para propósitos de ilustración. Los ejemplos describen algunas medidas de control en la aplicación de procedimientos, la estandarización de técnicas y la estimación de componentes específicos del error experimental.

Control de procedimientos en un laboratorio químico

En los ejemplos que se citan seguidamente, de nuevo se hará uso de resultados obtenidos al determinar vitamina A en suero sanguíneo por el método de Bessey y colabora-

dores (1). Para los propósitos de este trabajo, se asumirá que la técnica de laboratorio ha sido establecida y que lo que se desea es un control para uniformar la calidad de las dosificaciones.

El primer paso para establecer el sistema de control consiste en estimar la desviación estándar del método. Para este propósito se toman agregados del material que ha de analizarse, y de estos se preparan dos o tres series, cada una de 10 muestras alícuotas como mínimo de los distintos agregados. Las series así integradas constituyen unidades de trabajo para realizar las dosificaciones específicas, y los resultados obtenidos proporcionan la información requerida para el cálculo de la desviación estándar del método.

Antes de proceder a las dosificaciones de rutina es necesario que la estimación de la desviación estándar del método sea estable y adecuada. La característica de estabilidad se explica por sí misma y en la práctica no requiere análisis detallado. La desviación estándar de un método analítico se considera adecuada cuando al expresarse como coeficiente de variación (desviación estándar/promedio aritmético x 100), este satisface los niveles consignados en la literatura y establecidos al desarrollar el método original. Generalmente se considera que el coeficiente de variación debe ser inferior al 5%. Durante el proceso de estabilización metodológica se requiere también comprobar si la desviación estándar del método es independiente de los valores a dosificar. Esto se hace realizando estimaciones de la desviación estándar del método en agregados de concentraciones escalonadas del material que se ha de analizar.

Una vez satisfechas las condiciones anteriores, pueden iniciarse los análisis rutinarios incluyendo en ellos medidas apropiadas de control. En general, las dosificaciones deben hacerse en duplicado, asegurándose que estos sean independientes, y *no* se aceptarán resultados para aquellas muestras cuyos duplicados difieran en más de dos

veces el valor de la desviación estándar del método, ya que tal discrepancia debería ocurrir *por casualidad* (sin causa real), con una frecuencia esperada igual o inferior a cinco veces en cada cien dosificaciones en duplicado.

Como medida adicional de control sobre el método es necesario incluir en cada sesión analítica por lo menos dos muestras de referencia (resultados conocidos) para análisis rutinario. El técnico encargado de realizar las dosificaciones puede estar enterado de la existencia e identificación de algunos de estos controles, por lo que es necesario también incluir muestras de referencia (controles) de modo que el técnico encargado del proceso los analice sin estar enterado de su inclusión dentro del material a ser analizado.

Por último, otra medida útil para propósitos de control es la estimación de la desviación estándar entre duplicados. Dicha estimación puede practicarse individualmente y luego combinarse a través de una secuencia de sesiones analíticas. Cabe destacar que esta estimación generalmente resulta en una estimación viciada del error del método, cuando los duplicados no son independientes, ya que la concordancia entre duplicados conocidos y analizados secuencialmente por lo común es mucho mayor de la que ocurre bajo condiciones de dosificaciones en duplicados independientes, o bien en series con un

mayor número de repeticiones, por ejemplo, el caso de las 10 repeticiones usadas para estimar la desviación estándar del método. Se entiende por duplicados independientes aquéllos que son sometidos al análisis sin que el técnico encargado pueda identificarlos.

En el cuadro 2 se presentan cuatro maneras de estimar el error del método analítico calculadas a partir de resultados de dosificaciones rutinarias de vitamina A. Estos datos documentan la necesidad de establecer un sistema de estimación que haga posible la cuantificación del error del método bajo distintas condiciones. Los resultados que se presentan son cuantitativamente específicos para la dosificación de vitamina A por el método de Bessey y colaboradores (1) en los laboratorios del INCAP, pero ilustran también algunos hechos generales.

En primer lugar, el ordenamiento de las estimaciones de la desviación estándar del método, de acuerdo con su tamaño, ocurre como cabría esperar. Las estimaciones más confiables se obtienen de las determinaciones realizadas en los sueros de referencia, y de estas la menos susceptible a vicios es la que se estima a partir de dosificaciones en sueros de referencia desconocidas por el analista. Es de notar que estas estimaciones son también las de mayor magnitud. De todas formas, en el presente caso el coeficiente de variación calculado a partir de esta estima-

CUADRO 2—Cuatro maneras de estimar la desviación estándar (DE) del método (error del método) en la dosificación de vitamina A en el suero sanguíneo.

Procedimiento de estimación	Serie	Varianza (S ²)	DE (S)	No. de dosificaciones
Directo en 20 alícuotas de una muestra	1	1.082	1.040	20
	2	1.841	1.357	20
	Ambas	1.462	1.209	40
Sueros de referencia conocidos por el analista	1	2.077	1.441	13
	2	2.535	1.592	18
	Ambas	2.345	1.531	31
Sueros de referencia desconocidos por el analista	1	3.141	1.772	13
	2	3.183	1.784	16
	Ambas	3.164	1.779	29
Entre duplicados en series de rutina	1	0.424	0.651	50
	2	0.335	0.579	50
	Ambas	0.379	0.616	100

ción de error (que consideramos la más apropiada) es de 3.6%, por debajo del límite usual establecido que es de 5%.

La estimación del error de método, realizada a partir de determinaciones en duplicados conocidos y analizados secuencialmente (no independientes) durante sesiones analíticas de rutina, es una subestimación del monto real de la desviación estándar del método, indicativa de que en estos casos ocurre una concordancia entre duplicados mucho mayor de lo que sería de esperar, de acuerdo con cualquiera de las estimaciones del error de método descritas en el párrafo anterior. Esto es natural, ya que el analista toma toda clase de precauciones a fin de asegurar tal concordancia, que, vale decir, puede ocurrir aun en el caso de dosificaciones definitivamente erradas. Todo lo anterior hace dudar seriamente del valor real de efectuar dosificaciones en duplicado cuando estos *no son realmente independientes*, y más aún, cuando no se realizan ensayos como los que hemos descrito para cuantificar debidamente la desviación estándar de cada método analítico que se utilice. Cuando los duplicados son *realmente independientes*, esta estimación del error del método será del mismo orden de magnitud de las dos estimaciones descritas en el párrafo anterior.

Los resultados descritos tienen particular importancia práctica en la actualidad, cuando un buen número de dosificaciones de laboratorio se llevan a cabo utilizando sistemas analíticos automáticos para los cuales es fácil establecer gráficas de control. Para usar estas, las estimaciones requeridas podrían obtenerse a partir de un número limitado de duplicados *independientes*, convenientemente distribuidos en cada serie de análisis.

Estandarización de técnicas

Los procedimientos de estandarización de técnicas requieren la ejecución de ejercicios prácticos en la medida a estandarizar, que permitan realizar tales medidas como duplicados *independientes*. Es necesario insistir

que dos medidas consecutivas hechas en el mismo sujeto y por el mismo examinador no pueden considerarse independientes; este es también el caso al realizar dosificaciones químicas simultáneas en dos alícuotas de una misma muestra. Cuando más de un examinador es responsable de tomar medidas, todos los examinadores deben medir en repetidas ocasiones un mismo grupo de individuos o unidades con el fin de obtener conjuntos de medidas en duplicado para cada examinador.

El procedimiento de estandarización debería permitir el cálculo de las porciones del error asociadas con la medida en sí y el examinador. Cuando las medidas en duplicado son realmente independientes, las técnicas del análisis de varianza (4) proporcionan estimaciones de los dos componentes de error en referencia. Entonces, una estandarización adecuada puede documentarse usando las estimaciones de los componentes del error obtenidos a través del tiempo por medio de ejercicios prácticos en la toma de la medida de interés, ejecutados a intervalos convenientes.

Como un ejemplo de lo que debe entenderse por estandarización, en el cuadro 3 se presentan resultados en términos de los componentes de error atribuibles al examinador y a la medida en sí, calculados de los datos obtenidos en el curso de ejercicios efectuados para estandarizar a cuatro pedia-

CUADRO 3—Componentes de la varianza asociados con el error experimental de cuatro pediatras al medir el diámetro del brazo en niños menores de 3 años.

Identificación de las sesiones	Número de niños	Componente atribuible al:	
		examinador σ_e^2	instrumento σ_i^2
1ª semana	20	0.1102	0.076
2ª semana	20	0.0749	0.029
3ª semana	20	0.0536	0.033
4ª semana	20	0.0519	0.048
5ª semana	20	0.0411	0.040
6ª semana	20	0.0250	0.021
Meses 1 y 2	20	0.0245	0.024
Meses 3 y 4	20	0.0132	0.035

tras en la toma de medidas del perímetro del brazo en niños menores de tres años de edad. Para lograr la estandarización adecuada en la toma de esta medida antropométrica se requirieron 16 sesiones con los cuatro pediatras. Las primeras 12 se llevaron a cabo a razón de dos por semana durante un período de seis semanas. Las últimas cuatro sesiones se realizaron a intervalos mensuales. En cada una de ellas se tomó el diámetro del brazo izquierdo a 10 niños usando una cinta métrica corriente, de acuerdo con procedimientos descritos por Jelliffe (2).

Las cifras consignadas en el cuadro 3 representan promedios de las estimaciones de varianza (cuadrado del error) calculados en dos sesiones consecutivas. Por lo tanto, las 16 sesiones realizadas proporcionan 8 estimaciones de los componentes de la varianza atribuibles al examinador y a la medida en sí (instrumento), respectivamente.

Los valores estimados para los dos componentes de la varianza en consideración, ilustran la reducción que es posible lograr en ambos componentes por medio de instrucción en la aplicación de técnicas (bien sencillas en este caso) y práctica concomitante continua. Debe notarse que la reducción en el componente de la varianza atribuible al examinador ocurre con mayor lentitud que en el caso del componente de la varianza atribuible al instrumento. Sin embargo, la reducción en el primero de los dos componentes (examinador) es de mayor interés que en el caso del segundo (instrumento), y contribuye en mayor proporción a la reducción global del error experimental que es factible lograr a través de un proceso de estandarización adecuado.

Hay otro componente de la varianza atribuible a errores derivados de la interacción entre el examinador y el sujeto. Este componente también puede estimarse por el sistema descrito. Su comportamiento durante el proceso de estandarización es semejante al informado para los dos componentes considerados previamente. La contribución inicial

de este componente al error experimental es del mismo orden de magnitud que la contribución asociada con "examinador", pero su monto se reduce rápidamente y al final del proceso de estandarización alcanza niveles inferiores al del componente debido al "instrumento". En algunos casos, inclusive, este componente puede ser insignificante, particularmente cuando la técnica requerida para la toma de medida es sencilla y no es condicionada por el sujeto a quien se mide.

El sistema de estandarización aquí descrito toma tiempo y requiere dedicación y esfuerzo. No obstante, la reducción del error experimental que puede lograrse por este medio justifica el esfuerzo requerido.

Estandarización y componentes de la varianza en el caso de medidas pseudocuantitativas

Toda apreciación subjetiva generalmente está sujeta a una variabilidad mayor de la que se observa en el caso de medidas cuantitativas. Esto lo ilustran claramente los datos originales consignados en el cuadro 1. A pesar de la mayor variabilidad inherente a ellas, las medidas pseudocuantitativas (de origen subjetivo) pueden ser útiles, siempre y cuando tales observaciones sean generadas bajo estrictas condiciones de control. Como ejemplo pueden citarse los resultados del Proyecto Internacional de Aterosclerosis, que el INCAP llevó a cabo en colaboración con el Departamento de Patología de la Facultad de Medicina, Universidad del Estado de Luisiana (5).

Los procedimientos y técnicas aplicados para la evaluación visual de lesiones ateroscleróticas en la íntima de arterias, obtenidas de autopsias en humanos, han sido descritos en detalle por Guzmán y colaboradores (3). La confiabilidad y reproducibilidad de la apreciación visual de la extensión y severidad de las lesiones también han sido pormenorizadas (3,6,7).

Como un complemento a la presente descripción de las investigaciones del INCAP

sobre el error experimental, consideramos oportuno hacer una breve reseña del proceso de estandarización usado en este proyecto con miras a ilustrar que es posible utilizar ventajosamente medidas pseudocuantitativas, después de adiestrar y mantener bajo condiciones de control a los encargados de realizar las estimaciones de interés. En particular, se presentan resultados de estimaciones de componentes de varianza que documentan la utilidad de la apreciación visual de lesiones en estudios de la patología geográfica de la aterosclerosis.

Cuatro patólogos con experiencia previa en estudios de lesiones ateroscleróticas fueron adiestrados especialmente en la apreciación visual del área de la íntima arterial afectada por lesiones ateroscleróticas de distinto tipo. Los especímenes se obtuvieron por técnicas uniformes de disección, siendo luego sometidas a un proceso mecanizado de tinción con Sudan IV, previo a la evaluación de lesiones por el método visual pseudocuantitativo en referencia.

Para establecer la reproducibilidad del método visual empleado en la evaluación de lesiones, se usaron varios grupos de especímenes como estándares, en los que cada uno de los cuatro patólogos, a cargo de la evaluación visual de la aterosclerosis requerida por el proyecto, practicaron evaluaciones repetidas en forma independiente. Estos ejercicios, realizados al inicio de cada sesión rutinaria de evaluación, sirvieron de adiestramiento continuo y permitieron la estimación de varios componentes de la varianza. Como complemento de estos ejercicios en reproducibilidad, los patólogos, también evaluaron repetidamente, sin saberlo, un grupo de especímenes arteriales usado como un estándar interno de referencia.

En el cuadro 4 se presentan los resultados de la evaluación visual del porcentaje del área de la íntima de la aorta abdominal afectada por lesiones ateroscleróticas de todo tipo. Las cifras consignadas son promedios de evaluaciones en 30 especímenes efectua-

CUADRO 4—Porcentaje promedio del área de la íntima de 30 aortas abdominales afectada por lesiones ateroscleróticas de todo tipo. (Estimaciones realizadas por cuatro patólogos en el curso de cinco sesiones de evaluación de especímenes).

Patólogo	Sesión de evaluación				
	1	2	3	4	5
	Porcentaje promedio				
A	39	58	58	59	60
B	54	55	55	60	62
C	59	56	61	62	59
D	49	61	60	60	60
Dispersión entre promedios	10	6	6	3	3

Nota: Datos tomados de Guzmán y colaboradores (3).

das por cuatro patólogos en cinco sesiones sucesivas. La amplitud de variación entre promedios correspondientes a los cuatro patólogos, ilustra la reducción aparente en variabilidad que puede lograrse con la práctica. En la primera sesión, la disparidad observada entre promedios (10 unidades), representa un poco menos del 20% del valor promedio correspondiente al grupo de especímenes evaluado, mientras que en la quinta sesión, la disparidad observada (3 unidades) representa el 5% del valor promedio para el grupo de 30 especímenes incluidos en el grupo de estándares de referencia. Ello indica excelente concordancia en las estimaciones promedio de los cuatro patólogos.

Resultados de ensayos semejantes al descrito en el párrafo anterior fueron sometidos al análisis de la varianza con el propósito de estimar sus componentes. En este caso, la variabilidad entre especímenes es una expresión de variabilidad biológica. Por otra parte, la variabilidad entre patólogos según evaluaciones a diferentes tiempos, y la variabilidad entre evaluaciones de un mismo espécimen por el mismo patólogo, representan la variabilidad asociada con el error experimental. La reproducibilidad del método visual de evaluación de lesiones ateroscleróticas puede considerarse de orden práctico cuando la suma de los componentes

de la varianza que integran el error experimental es considerablemente menor que el componente de varianza de origen biológico. Es más, cuanto más grande sea la razón del componente biológico a la suma de los componentes del error experimental, tanto más sensitiva es la estimación visual.

En el cuadro 5 se presentan estimaciones de los componentes de la varianza en la evaluación visual de lesiones ateroscleróticas avanzadas, en la aorta y en las coronarias. Tales estimaciones indican que, a pesar del alto grado de variabilidad inherente a ella, la evaluación visual tiene utilidad práctica, ya que la razón de componente biológico a la suma de componentes asociados con error experimental es mayor que cinco, y debería permitir la identificación de diferencias estadísticas en porcentaje de íntima afectada por estas lesiones en diferentes grupos de población. De acuerdo con este índice, el uso del porcentaje de área de la íntima de la aorta, afectada por lesiones ateroscleróticas, parecería que es preferible para discriminar poblaciones, en comparación con el porcentaje correspondiente al área de la íntima de las coronarias afectadas. Sin embargo, estudios más detallados de los

CUADRO 5—Promedio de los valores estimados para algunos componentes de la varianza en la evaluación visual del área de la íntima afectada por lesiones ateroscleróticas de todo tipo (LT) y lesiones avanzadas (LA) en aortas y coronarias.

Origen del componente		Aortas		Coronarias	
		LT	LA	LT	LA
Biológico	(B)	493.6	476.2	652.4	345.0
Error:					
Directo					
Tiempo	(T)	4.1	0.5	1.5	0.6
Patólogo	(P)	2.3	4.0	5.5	2.3
Interacciones					
T×P		4.8	4.2	4.3	2.9
T×S		3.2	4.4	3.6	8.0
P×S		10.5	9.8	7.0	12.0
T×P×S		51.9	33.0	45.3	37.7
Suma de las fuentes de error	(E)	76.8	55.9	67.2	63.5
Razón	B/E	6.4	8.5	9.7	5.4

componentes de varianza (7) indican que la estimación de área afectada en la íntima de la arteria coronaria derecha es la medida más sensitiva para diferenciar entre poblaciones.

Comentario general

El propósito del presente trabajo no es presentar resultados en términos de estimaciones de error para distintos procedimientos de medir, sino más bien ilustrar algunas técnicas para la estimación de error que, en nuestro caso, han dado resultados prácticos.

Las investigaciones del error experimental usado como ejemplo de procesos indican claramente que la investigación del error no puede ser parte incidental de un proceso completo, sino que debe considerarse como una actividad más dentro del marco de las técnicas generales que se han de aplicar durante cualquier clase de investigación. Cuando se le dedica atención apropiada a este aspecto de la investigación, los ejemplos descritos claramente indican que es posible mejorar distintas clases de técnicas de medir, sin importar el grado de complejidad de las mismas, mediante la práctica programada y supervisada en su aplicación. Las mediciones realizadas en el curso de estas prácticas, a su vez, proporcionan información básica para el análisis de la confiabilidad de las técnicas de medir y la identificación y estimación de distintos componentes de la varianza. En particular, los ejemplos aquí citados ilustran que es posible reducir considerablemente el error experimental, y más importante aún, mantener los niveles bajos de error alcanzados a través de la práctica programada y supervisada en el uso de distintos tipos de técnicas de medir.

Resumen

Se describen algunas investigaciones del error experimental realizadas por la División de Estadística del INCAP en colaboración con investigadores encargados de programas específicos. Como ejemplo de lo que

puede lograrse manteniendo estudios continuos sobre el error, se presentan resultados de estas investigaciones en relación con dosificaciones de laboratorio, toma de medidas antropométricas, y apreciación visual (subjetiva y pseudocuantitativa) de áreas de la íntima de arterias afectadas por lesiones ateroscleróticas. En los tres casos se demuestra que es factible reducir el error

experimental y mantenerlo bajo control, por medio de estudios continuos a base de prácticas programadas y supervisadas en el uso de la técnica o procedimiento de medir. Bajo estas condiciones, también es posible lograr una excelente concordancia entre medidas realizadas por diferentes investigadores. □

REFERENCIAS

- (1) Bessey, O. A.; O. H. Lowry; M. J. Brock, y J. López. The determination of vitamin A and carotene in small quantities of blood serum. *J Biol Chem* 166:177-188, 1946.
- (2) Jelliffe, D. B. *The Assessment of the Nutritional Status of the Community*. Geneva, World Health Organization, (*WHO Monograph Series No. 53*), 1966, págs. 66-67.
- (3) Guzmán, M. A.; C. A. McMahan; H. C. McGill; J. P. Strong; C. Tejada; C. Restrepo; D. A. Eggen; W. B. Robertson, y L. A. Solberg. Selected methodologic aspects of the International Atherosclerosis Project. *Lab Invest* 18:479-497, 1968.
- (4) Snedecor, G. W. y W. G. Cochran. *Statistical Methods*. 6th Ed. Ames, The Iowa State Press, 1967, págs. 299-338.
- (5) McGill, H. C., Jr. (Ed.). *The Geographic Pathology of Atherosclerosis*. Baltimore, The Williams & Wilkins Company, 1968.
- (6) Solberg, L. A.; J. Moosy; O. D. Williams; M. A. Guzmán, y P. A. McGarry. Evaluation of atherosclerotic lesions in cerebral arteries by unaided visual examination. *Atherosclerosis* 16:155-167, 1972.
- (7) Guzmán, M. A.; C. A. McMahan, y J. P. Strong. Unaided visual estimation of atherosclerotic lesions: biological variability compared with grading variability. *Lab Invest*, 31:398-402, 1974.

Experimental error in scientific research: quantification of contributory factors (Summary)

The article describes studies of experimental error carried out by the Statistics Division of INCAP in collaboration with researchers responsible for specific programs. As an example of what can be achieved by means of continuing studies on errors, data are presented in respect of laboratory dosage, anthropometric measurement and visual appraisal (subjective and pseudoquantitative) of areas of the intima of arteries affected by atherosclerotic lesions.

In all three cases it is demonstrated that it is feasible to reduce experimental error and maintain it under control by means of continuing studies based on programmed and supervised practice in connection with the use of measurement techniques or procedures. Under these conditions it is also possible to achieve excellent concordance between measures taken by different researchers.

O erro experimental na pesquisa científica: a quantificação de elementos contribuintes (Resumo)

Descrivem-se algumas pesquisas de erro experimental realizadas pela Divisão de Estatística do INCAP em colaboração com pesquisadores encarregados de programas específicos. Como exemplo do que se pode obter com a manutenção de estudos contínuos sobre o erro, apresentam-se resultados dessas pesquisas, que se referem a dosificações de laboratório, medições antropométricas, e apreciação visual (subjetiva e pseudoquantitativa) de áreas interiores

de artérias afetadas por lesões ateroscleróticas. Nos três casos demonstra-se a exequibilidade de reduzir o erro experimental e de mantê-lo sob controle, mediante estudos contínuos baseados em práticas programadas e supervisionadas de uso da técnica ou do procedimento de medição. Nessas condições, também é possível obter uma excelente concordância entre medições feitas por diferentes pesquisadores.

L'erreur expérimentale et la recherche scientifique: quantification des éléments qui y contribuent (Résumé)

Dans cet article, l'auteur décrit quelques-unes des études réalisées sur l'erreur expérimentale par la Division de Statistique de l'INCAP en collaboration avec des chercheurs chargés de programmes spécifiques. Pour illustrer les effets que peuvent avoir de telles études, l'auteur présente les résultats obtenus dans les domaines du dosage en laboratoire, de la prise de mesures anthropométriques et de l'évaluation visuelle (subjective et pseudo-quantitative) de certaines parties d'artères

affectées par des lésions artério-sclérotiques. Dans ces trois cas il est démontré qu'il est possible d'atténuer l'erreur expérimentale et de la maintenir sous contrôle au moyen d'études continues fondées sur des pratiques programmées et supervisées de l'emploi de la technique ou du procédé de l'évaluation. Dans ces conditions, il est également possible d'arriver à une excellente compatibilité entre les mesures effectuées par divers chercheurs.