

R.D.

312.861

C718 m

y. 5

Reserva DANE caja 1

LD

776

y. 5

WILLIAM G. COCHRAN

**Métodos Modernos en el Muestreo
de Poblaciones Humanas**

DANE - CIMED Bogotá - Colombia 1972

BIBLIOTECA
DANE



8 FEB. 1973

Donum 312.861 1972-01-01 \$152

Esta traducción es la primera de una serie que el CIMED publicará periódicamente, con el objeto de dar a conocer aspectos metodológicos de interés científico. Dada la importancia que en la investigación tienen los estudios por muestreo, se creyó conveniente iniciar esta serie de publicaciones con el artículo del profesor Cochran.

PRINCIPIOS GENERALES EN LA SELECCION DE UNA MUESTRA 1/

Profesor de Bioestadística, Escuela de Higiene y Salud Pública,
Universidad Johns Hopkins, Baltimore, Md.

En las investigaciones de salud pública se están empleando cada vez más las encuestas por muestreo. Cuando son exitosas, proveen información útil acerca de las características de un amplio grupo de personas en forma rápida y relativamente económica. Son particularmente

ventajosas estas encuestas cuando para algunos aspectos del estudio se requiere personal altamente entrenado aunque de disponibilidad limitada.

Este documento discute varios de los principios comprendidos en la selección de la muestra. Esta no es siempre la parte más importante o difícil de una encuesta por muestreo. Pero si es la parte en la cual las personas sin experiencia en muestreo pueden sentirse menos seguras y más expuestas a la crítica de expertos en teoría de muestreo.

1/ Presentado ante la Sección de Estadística de la Asociación Americana de Salud Pública en la 78ava. Conferencia Anual en St. Louis, Mo., Noviembre 2, 1950.

ERRORES EN EL MUESTREO

Cualquier estimación proveniente de una muestra está sujeta a error. Aunque hay muchas fuentes de las que pueden surgir errores, podemos distinguir cuatro grandes grupos:

1. Errores de Muestreo.
 - a. Errores surgidos de la muestra tal como ha sido seleccionada.
 - b. Errores surgidos de la no respuesta.
2. Errores de medición.
3. Errores en la preparación de estimaciones.
4. Errores debidos al hecho de que las características de la población cambian con el tiempo.

El primer grupo (errores de muestreo) se presenta siempre porque medimos solamente una parte de la población o universo.

Esta categoría puede subdividirse en dos partes: errores surgidos de la muestra tal como ésta ha sido seleccionada y errores debidos a la falta de medición de toda la muestra que fue seleccionada. Todo el que ha efectuado una encuesta por muestreo estará de acuerdo en que no es una tarea fácil la obtención de respuestas a todas las preguntas de todas las personas incluidas en la muestra. El segundo grupo consiste en errores de medición, a los que tenemos que enfrentarnos en cualquier momento, por cualquier razón, debido a las respuestas incorrectas registradas para alguna pregunta. También se introducen errores en la crítica y tabulación de los resultados, y en la preparación de estimaciones (grupo 3).

El cuarto grupo requiere alguna explicación. Las muestras se toman frecuentemente no solo con el fin de describir el presente o el pasado, sino como una base para la acción futura. Al considerar, por ejemplo, la aplicación de un programa de salud para una enfermedad crónica, se podría medir la incidencia de esa enfermedad durante el año anterior. Sin embargo, lo que nos gustaría realmente saber es la incidencia en años futuros. De este modo, aun si se toma un censo completo y la incidencia en el año anterior se conoce exactamente, este dato tendría un error para el propósito por el cual queremos usarlo, debido a los cambios de incidencia de año a año.

Esta clasificación indica que la forma en la cual la muestra ha sido seleccionada influenciará solamente a un componente, y no al total del error. Una encuesta puede arruinarse por una deficiente selección de la muestra, pero inclusive también puede arruinarse en casos en que la muestra haya sido muy bien seleccionada. Se necesita una atención constante a todas las etapas de la operación. En verdad, es aconsejable tratar de prever los puntos más vulnerables de una encuesta proyectada. En muchas ocasiones puede ser mejor tomar una muestra más pequeña que la que se había pensado, a fin de tener recursos disponibles para dedicarlos a la reducción de alguna otra fuente de error, tales como errores de no respuesta o de medición.

Finalmente, en este documento, el lector notará que mis observaciones subsiguientes se refieren en general al error debido a la muestra tal como ha sido seleccionada antes que al error total.

EL PRINCIPIO GUIA

El principio que gobierna la práctica del muestreo moderno es el mismo de la economía familiar, según el cual una persona debe obtener lo más que pueda con su dinero. Cuando se consideran varias formas de diseñar una muestra, se trata de seleccionar aquella que proporciona el grado deseado de precisión en la forma más económica posible. Describiré algunos de los pasos que comprende la selección, procurando aplicar este principio.

LA ESPECIFICACION DE LA PRECISION

La primera pregunta que debe contestarse es la siguiente: ¿Cuán pequeño queremos que sea el error de muestreo?. Esto, por supuesto, se relaciona con la pregunta: ¿Cuán precisa queremos que sea la estimación?. La pregunta usualmente se contesta mediante la especificación del error estándar que deseamos tenga la estimación. Hay buenas razones teóricas para esperar que la mayoría de las estimaciones en encuestas por muestreo aproximadamente se distribuyan normalmente. Así, se espera que en 19 de 20 casos la estimación no difiera del verdadero valor del universo por más de 2σ , en forma tal que el conocimiento del error estándar nos permita calcular límites de error para la estimación, en la confianza de que éstos son válidos.

La especificación del error estándar deberían hacerla las personas que van a usar los resultados de la encuesta y debería depender de la precisión necesaria para tal uso. Se presentan frecuentemente algunas arbitrariedades y tal vez indecisión en la especificación de estos valores; sin embargo,

estos deberían hacerse lo más cuidadosamente posible, por cuanto si la demanda de precisión innecesariamente alta implica pérdida de recursos, la escasa precisión disminuye la utilidad de los resultados.

Al decidir el tamaño del error de muestreo esperado, se deben tomar en cuenta también otras fuentes posibles de error. Podemos desear estimar una tasa de morbilidad dentro del 40/o, y entonces escoger un error estándar de muestreo del 20/o. Sin embargo, la definición de esta morbilidad es tal vez tan difícil y tan poco comprensible por los legos en la materia que aun con un censo completo es improbable ser correctos en más de un 100/o. En esta situación, hay lugar para incrementar el error estándar de muestreo deseado, sobre la base de que no hay razón de tener un error de muestreo muy pequeño si otros errores van a hacer imprecisa la estimación.

TAMAÑO DE LA MUESTRA

El siguiente paso es estimar, para cualquier método de muestreo bajo consideración, el tamaño de la muestra necesario para reducir el error estándar de la estimación al valor escogido. Se ilustrará este proceso para una muestra simple aleatoria. Esto es, para una muestra obtenida después de numerar todas las unidades en la población, mezclar muy bien los números, y sacar números en forma sucesiva hasta alcanzar el tamaño deseado de la muestra. Si σ es la desviación estándar para alguna medida de la población, el error estándar de la media $\bar{y}$ de una muestra simple aleatoria se sabe teóricamente que es:

$$(1) \quad \sigma_{\bar{y}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{1 - \frac{n-1}{N-1}}$$

donde n y N son los tamaños de la muestra y de la población, respectivamente. La ecuación (1) puede resolverse para obtener n en términos de $\sigma_{\bar{y}}$, el error estándar deseado para la media muestral.

No hace falta decir que este ejemplo sobresimplifica el problema de determinar el tamaño de la muestra. Hay casi siempre un número de estimaciones que deben obtenerse, cada una de las cuales requiere un tamaño diferente de muestra. Pueden desearse estimaciones separadas para segmentos diferentes de la población, cada uno con sus límites especificados de error. Además, la fórmula para $\sigma_{\bar{y}}$ cambia con el método de muestreo. Una discusión más

extensa sobre la materia la da Mr. Cornfield 2/. Pueden notarse dos puntos. Si el cálculo de n es factible, debemos tener una fórmula que exprese el error estándar de la estimación como una función del tamaño de la muestra. Las implicaciones de este requerimiento se discutirán en otra sección. En segundo lugar, como sucede con todos los métodos de muestreo, la fórmula para determinar n lleva implícita la desviación estándar de la población. Esta debe estimarse, bien a partir de los datos previos, o bien de lo que se espera sea una aproximación inteligente. Para quien está regularmente trabajando en muestreo, es importante anotar cualquier información sobre desviaciones típicas de la población que lleguen a obtenerse de los resultados de encuestas por muestreo. Tales datos que tienden a ser pasados por alto como no interesantes, pueden constituir la más valiosa información de que se dispone para el mejoramiento del muestreo futuro.

COSTOS

En este punto estamos en capacidad de hacer alguna estimación del costo de la muestra. Para un tipo de muestreo poco familiar, usualmente está implícita alguna conjetura; sin embargo, con la experiencia, se hace más fácil la determinación precisa de los costos. Una falta común es ser demasiado optimistas respecto a los costos de campo y no permitir márgenes para errores. A veces se toma por dado el hecho de que el entrevistador no pierde tiempo en encontrar una dirección y de que tan pronto como suene el timbre se abrirá la puerta y el ama de casa estará lista a contestar las preguntas y sin ningún deseo de hacer observaciones relevantes. Los costos involucrados en tabulación, compendio e interpretación de los resultados son muchas veces olvidados.

LA COMPARACION DE LOS METODOS DE MUESTREO

Cuando los costos para obtener el grado deseado de precisión se han estimado para cada método de muestreo bajo consideración, resta solamente seleccionar el método para el cual parece tenerse probablemente el costo mínimo. En esta oportunidad, la falta de espacio no permite hacer una clasificación de los diferentes métodos de muestreo, aunque sí se darán más adelante algunos instrumentos importantes. El número de métodos que son operacionalmente convenientes para cualquier encuesta particular es usualmente pequeño. Además, por medio de reglas generales desarrolladas de la teoría del muestreo, es frecuentemente posible seleccionar el método más económico de entre un grupo completo de métodos de muestreo sin un examen muy detallado.

2/ Cornfield, Jerome. "The Determination of Sample Size", AUPH. 41, 6: 654-661 June, 1951.

MUESTREO PROBABILISTICO

En el enfoque arriba descrito es necesario tener, para cualquier método de muestreo, una fórmula que de los errores estándar de estimaciones hechas a partir de la muestra. Esta fórmula se usa para calcular tamaños de muestra cuando la misma está siendo planeada. Al terminarse la encuesta, esta fórmula provee errores estándar para las estimaciones que se han obtenido.

Las fórmulas de errores de muestreo se disponen solamente para muestras seleccionadas en forma tal que cada unidad de la población tenga una probabilidad conocida de caer en la muestra. El muestreo simple aleatorio satisface esta condición, por cuanto éste da a cada unidad de la población igual oportunidad de ser incluida en la muestra. La frase *muestreo probabilístico* se aplica hoy en día para denotar este tipo de muestreo.

Algunas técnicas de muestreo que han sido ampliamente usadas no conducen a muestreos probabilísticos. Esto sucede cuando el muestreo se circunscribe a un segmento aislado de la población, o a unidades de la población que alguien supone que constituyen unidades especialmente "típicas", o bien aquellas que son particularmente fáciles de medir. Estos métodos frecuentemente parecen atractivos, ya que a bajo costo pueden acumular una gran cantidad de datos. Estos métodos deberían evitarse, excepto cuando su conveniencia supere definitivamente en importancia a la desventaja de no tener una idea clara de la precisión de las estimaciones. Su uso puede mantenerse en trabajo exploratorio si el objetivo principal es averiguar si un estudio en particular es en forma completa operacionalmente factible.

EL MARCO

¿Cómo diseñar una muestra probabilística? . Sin recurrir a detalles, el procedimiento general es como sigue. Necesitamos una subdivisión de la población en unidades de muestreo. Estas unidades se numeran en alguna forma y se decide para cada una la probabilidad de inclusión deseada. Entonces, usualmente con la ayuda de una tabla de números aleatorios, se hace la selección en forma tal que esté conforme con el sistema de probabilidades que ha sido asignado.

Así, el diseño de una muestra probabilística requiere algo equivalente a una lista de unidades de muestreo en la población. La palabra *marco* ha sido ideada por la Subcomisión de Muestreo de las N.U. para definir esta subdivisión de la población. Una de las primeras tareas al

planear una muestra es averiguar si ya se dispone de un marco. Algunas veces éste no presenta dificultad porque existe un listado de la población. Sin embargo, la experiencia en muestreo despierta una actitud dudosa hacia los listados. A menudo se encuentra que éstos son incompletos, o tienen duplicación, o contienen información inexacta, a pesar de las más autorizadas declaraciones sobre lo contrario. No obstante, las listas son tan convenientes para el muestreo que vale la pena hacer todos los esfuerzos posibles para utilizarlas, después de revisadas y completadas, o con muestreo suplementario para cubrir los vacíos que éstas tengan.

Cuando no se cuenta con un marco adecuado, éste debe construirse. Esto puede ser costoso y demorado; sin embargo, con ingenio a menudo esta labor resulta menos onerosa de lo que se había pensado. Por ejemplo, las unidades de muestreo en las cuales se ha dividido la población en el marco no necesitan ser las mismas que las unidades que queremos medir (Generalmente llamadas *Unidades de Observación*).

Para una muestra de una población urbana la lista no necesita constar de personas; ésta puede ser una lista de hogares o de manzanas de las ciudades. El trabajo de los señores Hansen y Hurvitz 3/ sobre el método de muestreo de áreas ilustra cómo se aplican tales instrumentos a las poblaciones humanas.

En las siguientes secciones se describen brevemente algunas de las técnicas más comunes usadas en el muestreo probabilístico.

ESTRUCTURA DE LA UNIDAD DE MUESTREO

La unidad de muestreo es frecuentemente un agregado o un conglomerado de las unidades de observación. De esta manera se logran a veces ahorros sustanciales. Para un volumen dado de muestra, esto es, un número dado de cuestionarios completos, una unidad grande de muestreo da resultados más bien imprecisos porque, hablando en lenguaje común, las unidades grandes proporcionan una cobertura más bien "manchada" de la población. Por otra parte, una unidad grande usualmente permite tomar un volumen más grande de muestra con el mismo costo, ya que tanto el costo de viajes, como los gastos administrativos tienden a reducirse.

3/ Hansen, Morris H., y Hurvitz, William N. "Some Methods of Area Sampling in a Local Community". *AJPH*. 41,6:662-668 (June) 1951.

Por ejemplo, una muestra de entrevista personal diseñada para cubrir todos los Estados Unidos, (una muestra aleatoria de individuos) si ésta fuera factible, no sería eficiente porque se gastarían demasiado tiempo y dinero en viajes de un individuo a otro y serían muy poco seguros los cuestionarios. Se ha encontrado que el condado o municipio es ampliamente satisfactorio como unidad de muestreo en tales encuestas. El objetivo principal es obtener por ensayo y error el balance más eficiente entre economía en costos de campo y precisión estadística.

La estructura de la unidad también juega su papel. Si es posible, la unidad deberá establecerse en forma tal que exista la máxima variabilidad dentro de la unidad. Esto automáticamente disminuye la variabilidad entre unidades, que es la que domina el error de muestreo de la estimación.

MUESTREO EN DOS ETAPAS

Si la unidad de muestreo es un conglomerado de unidades de observación, no necesitamos medir *todas* las unidades de observación que pertenecen a la unidad seleccionada de muestreo. La misma unidad de muestreo puede ser considerada como una pequeña población, la cual se enumera al tomar de ella una muestra. Este proceso ha sido llamado *submuestreo* o *muestreo bi-etápico*, por cuanto la muestra se selecciona en dos pasos. El primer paso consiste en sacar una muestra de los conglomerados. El segundo, en tomar cada conglomerado seleccionado para extraer de él una muestra. Esto requiere la construcción de un marco dentro del conglomerado, y la definición de una unidad secundaria o unidad de sub-muestreo. El proceso obviamente puede extenderse.

Así, en una muestra de la población urbana de los Estados Unidos, el condado o municipio puede ser la unidad primaria de muestreo. Dentro del condado, el pueblo puede servir como una unidad secundaria o subunidad, sacándose una muestra de pueblos en cada condado seleccionado. Dentro del pueblo, la manzana de la ciudad puede ser una sub-subunidad, y dentro de ella el hogar puede ser la unidad final.

Una ventaja del muestreo multi-etápico es que da más flexibilidad de planeación. El número de condados, el número de pueblos por condado, el número de manzanas por pueblo, y el número de hogares por manzana en la muestra, están todos a nuestra disposición, y pueden seleccionarse con la intención de minimizar los costos para una precisión específica. Una escogencia atinada demanda un conocimiento considerable de la variabilidad dentro de la población y de los costos de los trabajos de campo. Esto reafirma el valor de guardar tales registros para cuando se presenten estas oportunidades.

ESTRATIFICACION

Un recurso muy común es dividir la población en sub-población o *estratos*. Puede haber varias razones para esto. Algunas veces las estadísticas tienen que publicarse separadamente para cada estrato, por lo cual es conveniente guardar las muestras correspondientes en forma separada. En ocasiones los diferentes estratos presentan problemas de campo bastante diversos por lo cual es mejor manejarlos independientemente; tal es el caso de un estrato formado por prisiones frente a otro compuesto de hogares particulares.

Aún cuando estas razones no se aplican, la estratificación puede producir aumento en cuanto a precisión. Esto ocurre cuando es posible formar estratos tales que cada uno sea homogéneo internamente, aunque un estrato pueda diferir marcadamente de otro. El tamaño exacto de cada estrato (esto es, el número de unidades de muestreo que contiene) debe también conocerse. Una muestra se toma independientemente en cada estrato. Si el estrato es homogéneo, la media de la muestra debería aproximarse a la media del estrato correspondiente. Puesto que los tamaños de los estratos son conocidos, a la media muestral de cada estrato se le puede asignar su propio peso para estimar la media de toda la población.

La fracción de muestreo (esto es, la proporción de unidades seleccionadas) puede variar de un estrato a otro, con la posibilidad de un aumento mayor en la precisión, el cual algunas veces es grande.

Se han elaborado fórmulas que determinan fracciones óptimas para una variedad de situaciones. Supongamos, por ejemplo, que el costo de tomar la muestra puede representarse por la fórmula sencilla:

$$\text{Costo} = \sum c_i n_i$$

donde c_i es el costo por unidad de muestreo en el estrato i y n_i el número de unidades muestrales en el mismo estrato. La fracción óptima n_i/N_i para el estrato i se encuentra que es proporcional a $\sigma_i / \sqrt{c_i}$, donde σ_i es la desviación típica dentro del estrato. En otras palabras, vale la pena incrementar la fracción de muestreo dentro de un estrato si éste es altamente variable, o excepcionalmente barato para el muestreo.

El resultado presupone muestreo aleatorio dentro de cada estrato. Una muestra de esta clase ejemplifica una muestra probabilística en la cual cada unidad no tiene la misma probabilidad de inclusión, aunque sí la tienen todas las unidades dentro del mismo estrato.

MUESTREO SIMPLE ALEATORIO Y SISTEMÁTICO

Para la operación final de obtener la muestra de un estrato, o la submuestra de una unidad primaria, se emplea comunemente uno de los dos métodos. El primero consiste en tomar una muestra simple aleatoria ya descrita anteriormente.

Alternativamente, habiendo enumerado las unidades, podemos muestrear a una tasa de 1 en k tomando un número aleatorio r entre 1 y k , y seleccionando la r -ésima unidad y luego cada k -ésima unidad hasta llegar al final de la lista. Así, si una parte de la población contiene 33 unidades, para ser muestreada en un 20o/o, o a una tasa de 1 en 5, seleccionamos un número aleatorio entre 1 y 5, digamos 2. La muestra consiste de las unidades numeradas 2, 7, 12, 17, 22, 27 y 32.

Esta clase de muestra llamada sistemática, es más fácil de seleccionar que una muestra simple aleatoria, especialmente si debe hacerse la selección en el campo. Probablemente es más exacto, si hay una tendencia en las medidas, las cuales siguen el orden de numeración. Como la muestra aleatoria, este sistema da a cada unidad la misma probabilidad de inclusión. El principal defecto de una muestra sistemática es que uno no puede obtener de sus resultados ninguna fórmula de validez general para el error de muestreo de la estimación. Se dispone de varias aproximaciones, las cuales usualmente son sobre-estimaciones

Esta relación de las técnicas que llevan a un muestreo económico es corta e incompleta. La selección de unidades con probabilidades proporcionales a sus tamaños, y la escogencia de un método eficiente de estimación son temas adicionales que merecen estudio. Las obras recientes de Yates 4/ y Deming 5/ ofrecen una discusión extensa sobre el tema, con numerosas ilustraciones.

EL PROBLEMA DE NO RESPUESTA

Para concluir, puede ser apropiado mencionar el problema de no respuesta, porque el fracaso de recolectar datos obviamente anula al menos parte de la habilidad y el esfuerzo dedicado a la selección de la muestra. Más aún, en el muestreo de poblaciones humanas el problema casi invariablemente se cambia. Es difícil establecer contacto con algunos entrevistados; otros son incapaces de dar información o no desean hacerlo. Esto sucede,

particularmente en las encuestas en las cuales los datos deseados son técnicos o problemáticos.

Desafortunadamente, cualquier porcentaje algo grande de no respuesta hace que los resultados estén abiertos a la duda de cualquier persona interesada en ellos. Supóngase que nuestros métodos de campo, si se aplican a una población completa, fracasaran en conseguir información del 20o/o de la población. Entonces, realmente no sabemos, por ejemplo, nada acerca de una tasa de incidencia en esa parte de la población, excepto que cae entre 0 y 100o/o. Podemos creer y asertar que la tasa no puede diferir mucho de la tasa en la parte de la población que pudimos muestrear, pero tales aseveraciones son solo opiniones insubstanciales y no hechos. Algunas veces se lee que la no respuesta ha sido "tomada en cuenta" mediante la sustitución de otros individuos en lugar de aquellos que fueron difíciles de encontrar o no cooperaron. Las sustituciones rara vez resuelven el problema. Estas solamente aumentan el tamaño de la muestra en esa parte de la población que está sujeta a nuestros métodos de campo.

Las personas sin experiencia en muestreo a menudo olvidan hacer planes para tratar el problema de la no respuesta asumiendo aparentemente que ésta será mínima. Hay algunas excusas para esto ya que es difícil prever el volumen de no respuesta que debe encontrarse. Sin embargo, la habilidad para tratar estas contingencias inesperadas es de mucha importancia en el muestreo, porque, con el debido respeto a la teoría de probabilidad, algunas contingencias inesperadas ocurren con certeza.

Si la no respuesta se debe a la dificultad de hacer contacto con el informante, o a la renuencia a cooperar, una forma de atacar el problema es concentrarse en una submuestra aleatoria de los casos para hacer todos los esfuerzos posibles a fin de obtener la información de éstos. Métodos para calcular el mejor tamaño para esta submuestra han sido dados por Hansen y Hurwitz 6/; ver también Birnbaums y Sirken 7/.

Si el problema está en la falta de habilidad para dar la información, lo indicado es un cambio en el cuestionario y en la forma de abordar el tema. Algunas veces no hay solución: el hecho es que la gente no posee la información que habíamos esperado obtener. Aún en este caso, es bueno enterarse de ello al comienzo, antes que al final.

4/ Yates, F. *Sampling Methods for Censuses and Surveys*. London: Charles Griffin y Co., 1949.

5/ Deming, W.E. *Some Theory of Sampling*. New York: Wiley e Hijos, 1950.

6/ Hansen, M.H., y Hurwitz, W. N. The Problem of Non-response in Sample Surveys. *J. Am. Stat. A.* 41:517-529, 1946.

7/ Birnbaums, Z. W., y Sirken, M. G. On the Total Error Due to Non-interview and to Random Sampling. *Internat. J. Opinion and Attitude Research* 4:179-191, 1950.

**METODOS MODERNOS EN EL MUESTREO
DE POBLACIONES HUMANAS**

Se terminó de imprimir el día 23 de Noviembre
de 1972 en los talleres gráficos del Departamento
Administrativo Nacional de Estadística -DANE-
Bogotá, Colombia.