



Técnicas de Muestreo para Auditorías

Guía teórico - práctica

Gerencia de Control de la Deuda Pública
Departamento de Control de Operaciones de Crédito Público y Sustentabilidad

© Lic. Martín Rubione

El propósito de esta guía es contribuir con los equipos de auditoría en la elección y aplicación del plan de muestreo más eficiente para cada caso. Se espera que el documento se complete y perfeccione con la colaboración de los usuarios. Cualquier comentario al respecto podrá ser dirigido a mrubione@agn.gov.ar.

Los contenidos de esta guía no deberán ser reproducidos para fines comerciales. No obstante, se alienta su reproducción para otros fines, con el correspondiente reconocimiento.

La guía que está leyendo corresponde a la versión 1.0.
de mayo de 2011

Índice

Introducción	1
Nociones básicas relativas al muestreo	3
Población.....	3
Muestra	3
Censo.....	4
Plan de muestreo	4
Programa de muestreo	4
Riesgos y beneficios del muestreo.....	4
Muestreo probabilístico y no probabilístico	4
Precauciones con el muestreo no probabilístico	5
Consideraciones para el armado de un programa de muestreo	5
Objetivos de auditoría.....	5
Variables para analizar	6
Precisión y error de muestreo.....	7
Confianza.....	8
Error no atribuible al muestreo.....	8
Estratificación y homogeneidad.....	8
Estratificación y segmentación	9
Distribución de probabilidades	9
Factores que influyen sobre el tamaño de la muestra.....	10
Planes de muestreo probabilístico	11
Muestreo simple al azar	12
Muestreo sistemático	12
Muestreo estratificado.....	13
Muestreo agrupado	13
Muestreo por materialidad.....	13
Muestreo de descubrimiento.....	14
Planes de muestreo no probabilístico	14
Caso extremo	15
Caso intenso.....	15
Máxima variación	15
Caso típico	15
Caso paradigmático.....	15
Bola de nieve	16
Criterio.....	16

Oportunista	16
Casos de interés	16
Conveniencia	16
Reporte del programa de muestreo.....	16
Qué documentar en el caso de muestreo probabilístico.....	17
Qué documentar en el caso de muestreo no probabilístico.....	18
Anexo A - Ayuda para la elección de planes de muestreo probabilístico	19
Anexo B - Errores no atribuibles al muestreo	20
Anexo C - Metodologías para la estratificación de poblaciones	22
Anexo D - Fórmulas	23
Anexo E - Tamaño de muestra para muestreo de descubrimiento	27
Anexo F – Valores de la distribución Normal.....	28
Anexo G – Valores de la distribución t-student	29
Bibliografía.....	30

Introducción

El muestreo es la técnica conforme a la cual se extraen ciertos elementos de una población o universo para, mediante su análisis, inferir características de la población de la cual han sido extraídos. Se trata de un método que permite hacer economía de recursos a cambio de ciertos riesgos de naturaleza controlable.

Cada vez más, las auditorías recurren a técnicas de muestreo para arribar a conclusiones fundadas. Con el crecimiento en el volumen de las actividades, se hace prácticamente imposible, sino absolutamente dispendiosa, la formidable tarea de revisar todos y cada uno de los comprobantes, procedimientos, legajos, opiniones, o aquello que comprenda el objeto de análisis.

Se reconoce habitualmente que las muestras implican cierto grado de error. Supuestamente, si no se deseara asumir riesgos, debería llevarse a cabo un censo. No obstante, existen varios motivos por los cuales los censos tampoco están libres de error (por ejemplo, por falsificación o aburrimiento). El paradójico resultado consiste en que realizar censos para fundar opiniones de auditoría puede acarrear un grado desconocido de error, posiblemente mayor que

“Dado que el control en muy pocos casos puede ser realizado exhaustivamente, las Entidades Fiscalizadoras Superiores tendrán que limitarse, en general, al procedimiento de muestreo. Este, sin embargo, debe realizarse en base a un programa dado y en tal número que resulte posible formarse un juicio sobre la calidad y la regularidad de las operaciones.”

INTOSAI. Declaración de Lima, Cap. V, Art. 13, inc.2

aquel que se podría haber elegido a conciencia. Vale decir, además, que no siempre es posible realizar un censo por la naturaleza del objeto de análisis –la contaminación del aire, agua o suelo–, o deseable: un análisis de sangre se realiza a partir de la extracción de una muestra, afortunadamente.

Elegido un tamaño de muestra compatible con el riesgo que se acepta asumir, el riesgo estrictamente atribuible al muestreo consiste en que la muestra extraída no sea representativa de la población de origen, y que por ello se arribe a conclusiones erradas sobre la población. Pero, ¿qué pasa si no realizáramos una muestra fundada en cálculos y eligiéramos discrecionalmente una cierta cantidad de unidades para analizar? Pueden pasar dos cosas: i) pueden extraerse y analizarse una cantidad mayor de unidades que las estrictamente suficientes para arribar a una opinión confiable, en cuyo caso se estaría incurriendo en un mayor volumen de trabajo que el necesario; o ii) puede extraerse y analizarse una cantidad menor de unidades que aquellas que resulten suficientes para arribar a una

opinión confiable, en cuyo caso se estaría poniendo en riesgo el sustento mismo de las opiniones.

El trabajo intelectual necesario para identificar el universo, describir los procedimientos, planificar las pruebas de cumplimiento, seleccionar una muestra, reportar los resultados, etc. -conjunto de tareas comúnmente conocidas como “programa de muestreo”-, no es en absoluto menor. Tampoco lo es el trabajo de combatir contra el instinto del auditor, que se manifiesta en tendencias inconscientes a elegir determinados documentos o montos, y no otros, o a elegir los menos problemáticos. Tampoco es tarea fácil cuestionar los usos y costumbres tan arraigados en esta actividad (analizar el 30% de los comprobantes, analizar un mes cada tres, por ejemplo). En síntesis, llevar a cabo un muestreo bien fundado es trabajoso. Pero el beneficio es el sustento, comparable por cierto al de la buena evidencia.

Es oportuno aclarar que el muestreo no desconoce el instinto –contrario a lo que comúnmente se cree–, sino que lo incorpora en su método. En cuanto a los usos y costumbres, no es mucho lo que pueda decirse de ellos para defenderlos, excepto que han resultado útiles para una época en la que la teoría y práctica del muestreo estaba lejos de alcanzar el desarrollo actual.

El muestreo probabilístico no es aplicable en todos los casos o circunstancias. Habrá situaciones en las que por falta de recursos, por dificultades operativas u otras limitaciones, será preferible acudir a determinadas pruebas específicas que distan de los procedimientos estadísticos más rigurosos. No obstante, aún en esos casos habrán de tenerse en cuenta ciertos cuidados mínimos y necesarios para sostener fundadamente las opiniones vertidas en un informe. Se trata de técnicas que se denominan de muestreo no probabilístico, de gran aplicación práctica y que conviene tener presentes.

Considerándose la diversidad de situaciones que los equipos de auditoría deben atender, tanto al realizar auditorías financieras como las menos estandarizadas auditorías de gestión, el universo atendible es en consecuencia aquel que corresponde al de las ciencias sociales en toda su envergadura. En este universo amplio, complejo y cambiante, esta guía pretende ser un documento accesible desde su alcance teórico, y en un instrumento de consulta práctica que ayude a seleccionar el mejor plan de muestreo para las circunstancias particulares a las que se enfrenta cada equipo de auditoría.

Nociones básicas relativas al muestreo

Población

Una población es un conjunto de elementos de interés para un estudio. A cada uno de los elementos que conforman la población, se lo denomina “unidad de muestreo”. Es necesario definir qué es lo que hace que las diversas unidades de muestreo que componen la población sean homogéneas entre sí, y cuál es el grado de diversidad admisible. La homogeneidad se refiere al grado de similitud que existe



entre las unidades de muestreo de una población. En definitiva, todos podemos reconocer a un grano de arroz, pero no siempre resultará tan fácil. Es más sencillo, por ejemplo, definir “departamento” que “hogar”. ¿Cuáles son los límites cualitativos o cuantitativos que determinan que un hogar es tal? Aunque se espera que las unidades

de muestreo difieran en algún grado entre unas y otras, deben ser de todos modos lo suficientemente parecidas entre ellas como para ser consideradas miembros de una misma población. Puede ser una persona, un archivo, una unidad administrativa, entre otros, pero es necesario definir operativamente de qué se trata una unidad de muestreo, en términos muy claros y concretos. Por ejemplo: todos los municipios o comunidades linderos a Parques Nacionales que cuenten con jefe de gobierno. Al listado de procedimientos necesarios para identificar a las unidades de muestreo, se lo denomina “protocolo de muestreo”. La cantidad total de unidades de muestreo que hay en una población se reconocen bajo la letra “N”.

Muestra

Una muestra es un subconjunto de elementos de una población. Para extraer una muestra se seleccionan unidades de muestreo, procurando que su distribución sea similar a la de la población de origen; en otras palabras, que sea representativa de la población. Por ejemplo, si una población está compuesta en un 30% por unidades que cumplen con la característica “A”, una técnica de muestreo bien utilizada redundará en una muestra en la que aproximadamente el 30% de sus elementos poseerán la característica “A”. Que la población sea homogénea es, en la mayor parte de los casos, una condición necesaria para que las inferencias sobre la población sean válidas. De este modo, se podrá arribar a conclusiones sobre la población sin necesidad de analizar la población completa. A la acción de extraer una muestra se la denomina “muestreo”. La cantidad de unidades muestreadas –que conforman una muestra– se reconocen bajo la letra “n”.

Censo

El origen latín de la palabra es “*census*”, que significa “padrón”. Implica verificar el 100% de las unidades de una población. En vez de una opinión basada en la razonabilidad, es posible en estos casos una certificación. No obstante, la realización de censos no garantiza el arribo a conclusiones inapelables. En ellos puede incidir la rutina como factor de error, entre otros. Cabe destacar la importancia de declarar el índice de respuesta de los censos, ya que bajo un índice bajo puede esconderse heterogeneidad en la población, u otras causas que podrían limitar la validez global de las opiniones. El censo en las auditorías se aplica cuando la población es muy pequeña ($N \leq 20$), por ejemplo, expedientes de obras en curso.

Plan de muestreo

Se denomina “plan de muestreo” a la combinación de factores que determinan mínimamente el tamaño de la muestra y el procedimiento de muestreo. Un plan de muestreo está asociado a técnicas específicas, fórmulas y tablas. El plan de muestreo más conocido y sencillo se denomina “muestreo simple al azar”. Un compendio de planes de muestreo se encuentra en las páginas 11 a 16.

Programa de muestreo

Es el conjunto de decisiones que incluyen no sólo el plan de muestreo elegido, sino también la definición de la población, el protocolo de muestreo, los valores de precisión y confianza con los que se trabajará, los métodos de recolección de datos, y la explicitación de las pruebas de cumplimiento.

Riesgos y beneficios del muestreo

El riesgo de muestrear es arribar a conclusiones erradas sobre la población, mientras que el beneficio es la optimización en el uso de recursos, dado el riesgo asumido. Existen algunos motivos en virtud de los cuales no queda más opción que extraer una muestra. Entre ellos, cabe mencionar las siguientes: i) la imposibilidad de censar poblaciones infinitas (calidad del aire, calidad del agua), ii) el costo de censar poblaciones finitas muy grandes (intención de voto / beneficiarios de planes), iii) el contrasentido de censar unidades cuyo testeado implica su destrucción (duración de lamparitas / resistencia de una cerradura), iv) imposibilidad material o riesgo (¿Es necesario o posible extraer toda la sangre de un paciente para conocer su estado de salud?), y v) limitaciones de recursos –por ejemplo, cuando el costo de viáticos es significativo.

Muestreo probabilístico y no probabilístico

El muestreo se puede dividir en “probabilístico” y “no probabilístico”, también denominados “estadístico” y “no estadístico”, o “al azar” y “no al azar”, respectivamente. El hecho de extraer una muestra no significa azar o aleatoriedad. En ello es determinante la fase mecánica de selección de las unidades de muestreo que conformarán la muestra. La diferencia fundamental entre estos tipos de muestreo radica en que en el muestreo

probabilístico se puede medir el riesgo que se asume al muestrear, mientras que en el muestreo no probabilístico ello no es posible. En el estadístico, la fundamentación es teórica y las conclusiones pueden ser cuantitativas y precisas; mientras que en el no estadístico, la fundamentación es práctica y las conclusiones pueden ser cualitativas y, en el mejor de los casos, razonables, además de perder ante determinados casos la posibilidad de ser extrapolables. Ante estas diferencias, ¿por qué recurrir al muestreo no probabilístico? En algunas circunstancias sucede que no es posible por falta de tiempo, por escasez de recursos, por limitaciones para acceder a la población u otras dificultades operativas llevar a cabo un muestreo probabilístico. Será preferible, entonces, acudir a determinadas pruebas específicas, para los que habrán de tenerse en cuenta ciertos cuidados mínimos y necesarios para sostener fundadamente las opiniones vertidas en un informe.

Precauciones con el muestreo no probabilístico

Las conclusiones derivadas de muestreos no probabilísticos deben ser cuidadosas: deberá evitarse informar ratios ya que puede conducir a otros a generalizar. En cambio, se podrá informar sobre la cantidad de casos que cumplieron o no con el criterio. Una vez informada la cantidad de casos, deberá ensayarse una conclusión que permita interpretarlos, es decir, transformar los datos en información. Si bien los hallazgos no podrán considerarse representativos, ¿dan cuenta de la existencia de algún problema serio? ¿Permiten conocer la naturaleza del problema? A los efectos de fortalecer los resultados del muestreo no probabilístico, es recomendable hacer uso de información de otras fuentes (triangulación).

Algunos planes de muestreo probabilístico pueden consultarse en el capítulo respectivo, página 11; mientras que planes de muestreo no probabilístico pueden verse en la página 14.

Consideraciones para el armado de un programa de muestreo

Para lograr que la muestra sea representativa de la población sobre la que se desea concluir, es necesario considerar ciertos conceptos y llevar adelante algunos procedimientos mínimos. A continuación, se exponen los aspectos que conviene tener en cuenta.

Objetivos de auditoría

Los objetivos de auditoría deberían estar claros y explicitarse antes de avanzar sobre el programa de muestreo, ya que estos inciden sobre el plan de muestreo que habrá de elegirse. A medida que se va puliendo el programa de muestreo, será necesario iterar con los objetivos, con el alcance, y con la precisión del muestreo, ya que puede resultar necesario considerar la suficiencia de los recursos con los que se cuenta. Al finalizar el

proceso, el alcance de la auditoría debe ser consistente con los recursos disponibles y con el programa de muestreo asociado. Los objetivos de auditoría deben poder expresarse en términos muy concretos, por ejemplo (para muestreo probabilístico):

“A los efectos de la evaluación de los procedimientos a aplicar, para la determinación de su alcance, el auditor deberá tener en cuenta la utilización de bases selectivas, según su criterio, apoyándose en el uso de métodos de muestreo estadísticos.”

Normas de Auditoría Externa de la Auditoría General de la Nación.

IIIa-2 PLANIFICACIÓN ESPECIFICA

- Estimar la proporción de becas que fueron otorgadas en cumplimiento de las cláusulas estipuladas en el Manual Operativo.
- Estimar la duración promedio de las puertas antipánico instaladas en instituciones educativas pertenecientes al Programa.
- Estimar el tiempo promedio transcurrido desde el inicio del Programa hasta que los beneficiarios potenciales se enteraran de su existencia por medios fehacientes, por región.

Para muestreo no probabilístico:

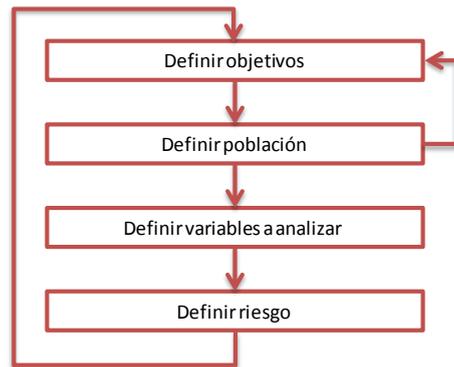
- Ilustrar el grado de adaptabilidad de la solución propuesta por el proyecto a la problemática de residuos sólidos urbanos de los municipios potencialmente beneficiarios.
- Ilustrar sobre la satisfacción de los usuarios finales pertenecientes a pueblos originarios respecto del trato recibido durante la instalación del equipamiento.
- Ilustrar sobre la suficiencia de información técnica entregada a los responsables de mantenimiento de las instalaciones recibidas.

Es necesario tomar recaudos para que la unidad de muestreo se ajuste a los objetivos de la auditoría. Puede suceder que un archivo, una carpeta, o un contrato sea tan sólo una parte de la unidad de muestreo que se desea analizar. Supóngase que lo que se intenta determinar es si los proyectos fueron gestionados con eficacia, y que cada proyecto esté constituido por varios contratos. La división que se realiza entre una unidad de muestreo y otra puede ser arbitraria y diferir de la división “natural” que se presenta por comodidad para la gestión.

Variables para analizar

Todo muestreo procura realizar inferencias sobre la población, para lo cual recurre al cálculo de lo que se denomina “estimadores”. Los estimadores son los valores de ciertos atributos de las unidades de muestreo. Pueden corresponder a variables nominales, ordinales o numéricas. Las variables nominales son aquellas que permiten clasificar unidades en distintos grupos

(por ejemplo, lugar de residencia: Norte, Centro o Sur). Aquellas variables que sólo cuentan con dos opciones se denominan “binomiales” (por ejemplo, egresado universitario: Sí o No). Las variables ordinales permiten clasificar las unidades de muestreo en un orden determinado. Permiten conocer su posición relativa respecto del resto de las unidades de muestreo, pero no medir magnitudes que las diferencien (por ejemplo, para relevar la satisfacción de los usuarios respecto de algún aspecto determinado de un Programa, respuestas posibles podrían ser: muy satisfecho, satisfecho, neutral, insatisfecho, muy insatisfecho. Se conocerá que una persona “satisfecha” está más satisfecha que una que se clasifica “neutral”, pero no sabemos cuánto más). Las variables numéricas se utilizan



para situar a unidades de muestreo dentro de una función continua. El valor asociado a una unidad de muestreo permite medir las diferencias respecto de otras unidades, entre las que se incluyen montos monetarios: promedio de años de experiencia, proporción de facturas con montos superiores a “x”, demora media.

Precisión y error de muestreo

En la medida en que una muestra es representativa, habrá similitud entre el valor del estimador (de la muestra) y el valor del parámetro (de la población). Es el grado de similitud entre un estimador y un parámetro, siendo el parámetro el valor asociado a un determinado atributo de la población, y el estimador el valor asociado al mismo atributo, pero de una muestra. Supóngase una población de comprobantes de atención, a partir de los cuales se podría calcular la demora promedio para brindar cierta atención, valor que desconocemos y que alcanza a 47 minutos (el parámetro). De extraerse una muestra, podrá calcularse la demora promedio de las unidades muestreadas, que conformará el estimador, cuyo valor muy probablemente oscilará en torno al valor del parámetro, sin necesariamente coincidir. El tamaño de la muestra incide sobre la precisión de los estimadores. Si se desea mayor precisión en los estimadores, más grande deberá ser la muestra. El concepto inverso al de precisión es el “error de muestreo”. Se denomina error de muestreo a cualquier diferencia que exista entre el estimador y el parámetro, debido al azar. El tamaño de la muestra incide sobre el error de muestreo de modo inverso que como sucedía con la precisión. Si se desea menor error de muestreo, más grande deberá ser la muestra. El riesgo de una muestra pequeña es que no sea representativa de la población por el hecho de extraer unidades de muestreo particularmente extremas en valor. Por ejemplo, supóngase que para estimar la altura promedio de la población mencionada precedentemente se extrae una muestra pequeña, pero en virtud del azar, algunas extracciones corresponden a jugadores de básquet, sin que se hayan extraído (también por azar) personas con valores de atributo en el otro extremo del continuo y que permitan compensar a los basquetbolistas. El error de muestreo se mide como margen de error admisible. Ejemplo: se

espera que el valor del parámetro esté comprendido en +/- 5% del valor del estimador que se ha calculado o, en otras palabras, que la demora promedio para recibir atención esté comprendida entre 46,55 min y 51,45 min (cuando la demora promedio de la muestra dio por resultado 49). El error de muestreo se suele representar bajo la letra "E".

Confianza

El nivel de confianza es una medida de la probabilidad de que el valor del estimador no difiera del valor del parámetro más allá del margen de error. La confianza reside sobre qué tan representativa es una muestra de la población. En términos coloquiales, podría decirse que es una manera de estipular qué tan parecidas son las muestras que podrían extraerse, una y otra vez, de la misma población. Si se desea mayor grado de confianza sobre los estimadores, más grande deberá ser la muestra. De este modo, cuánto más grande la muestra, menor probabilidad de diferir significativamente entre ellas. En el extremo, si la muestra fuera tan grande como la población (censo), entonces no habría diferencias entre muestras extraídas una y otra vez, por lo que el nivel de confianza en el muestreo sería máximo. Normalmente se trabaja con niveles de confianza comprendidos entre el 95% y el 90%. Un nivel de confianza del 95% significa, por ejemplo, que se tiene un 95% de confianza en que el valor del estimador está dentro del intervalo de confianza definido. Siguiendo con el ejemplo anterior, podría decirse que con un 95% de confianza, la demora promedio para la atención está comprendida entre 46,55 min y 51,45 min (cuando la demora promedio de la muestra dio por resultado 49). Al igual que con la precisión, el nivel de confianza aumenta con el tamaño de la muestra. El nivel de confianza se suele representar mediante la letra "C".

Error no atribuible al muestreo

Hay otras fuentes de error, además del error de muestreo, que pueden derivar en estimadores imprecisos. Cualquier diferencia que exista entre el estimador y el parámetro, y que no se deba al azar ni al tamaño de muestra, si no a falencias en el programa de muestreo, o a su aplicación en campo, se denomina "error no atribuible al muestreo". A diferencia del error de muestreo, este tipo de error no es mensurable y hasta puede pasar desapercibido, conduciendo irremediablemente a conclusiones incorrectas. El origen del error no atribuible al muestreo puede clasificarse como: i) problemas de diseño del programa, ii) equívocos, iii) falta de respuesta. Entre sus casos, cabe mencionar los siguientes: preguntas ambiguas, anidadas o correlativas, respuestas por reputación, por conveniencia o falta de respuesta, procedimientos ambiguos, ponderación incorrecta, cobertura inapropiada y falsificación o equívocos. Una descripción de cada caso puede consultarse en el *Anexo B - Errores no atribuibles al muestreo*, página 20, útil para utilizar como *check list* a la hora de verificar el diseño, y como paso previo a la puesta en práctica.

Estratificación y homogeneidad

Es el proceso por medio del cual se divide una población en diversas sub poblaciones (o estratos) para que cumplan con el principio de

homogeneidad (ver “Población”, página 3), y reducir así el riesgo de que las muestras no sean representativas. Identificar poblaciones homogéneas puede llevar a un gran número de estratos que habrá que muestrear por separado. En consecuencia, puede incrementarse de manera significativa la cantidad de muestras y del trabajo a realizar, por lo que habría que iterar, de ser necesario, con los objetivos y alcance. Esta es precisamente la instancia en la que volcar el conocimiento intuitivo del auditor. Su conocimiento debe destinarse, más que a la elección no probabilística de determinadas unidades de muestreo, a la estratificación precisa de una población. Para estratificar, puede resultar útil recurrir a estrategias para conducir muestreos no probabilísticos, aún si el plan es llevar a cabo un muestreo probabilístico (ver “Planes de muestreo no probabilístico”, página 14).

Puede suceder que no resulte sencillo estratificar debido a que el atributo está oculto a la observación directa. Por ejemplo, puede que se deseen analizar unidades de alto riesgo solamente. Normalmente, las unidades de muestreo no están etiquetadas como de alto o bajo riesgo. El riesgo es una construcción que se deberá definir sobre la base de otras características operativas o atributos que sí sean visibles.

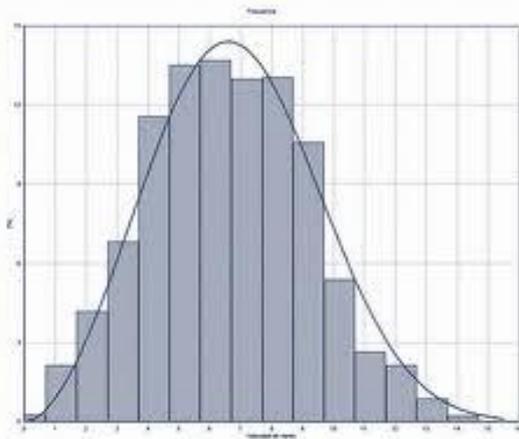
Estratificación y segmentación

Así como la estratificación se realiza para homogeneizar una población heterogénea, la segmentación se realiza para enriquecer o facilitar el reporte de resultados, sobre la base de una población o sub población homogénea. No ha de confundirse una con otra. Es posible estratificar una población entre hombres y mujeres, para luego segmentar por algún otro atributo que no incida sobre la homogeneidad, pero que enriquezca los resultados del análisis, por ejemplo, si los alumnos de diferentes regiones geográficas, aun formando parte de la misma población, presentan distintos promedios.

Distribución de probabilidades

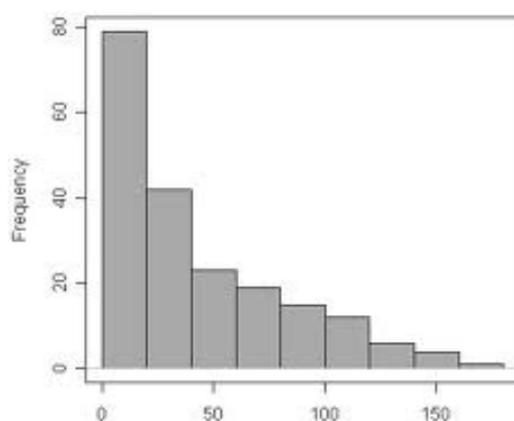
Además del conocimiento ex ante que el auditor tenga sobre determinada población, que facilita la estratificación, una técnica habitualmente utilizada consiste en graficar la frecuencia de una población frente a la variable bajo análisis (histograma). En el eje vertical se presentan las frecuencias –es decir, la cantidad de veces que se repite–, y en el horizontal los valores de la variable bajo análisis. Este método permite observar a simple vista la presencia de sub poblaciones o estratos. De extraerse una variable aleatoriamente, la probabilidad de que se encuentre comprendido en los valores del histograma seguirá la distribución de frecuencias relativas graficada. Al respecto, es útil tener presente los conceptos de media (promedio de valores), moda (valor con mayor frecuencia) y mediana (valor que divide un continuo en dos mitades iguales), así como también el de dispersión, que es una medida del grado en que los valores se alejan de la media. Dependiendo de la población que se analice, su media y su dispersión pueden variar radicalmente, por ejemplo: duración de lámparas incandescentes, monto de viáticos, duración de un trámite, monto de préstamos. Distribuciones típicas son las siguientes:

- 1) **La distribución “normal”** es unimodal –lo que indica que se observa una sola “moda” o cima en el histograma–, simétrica, y tiene forma de campana. En una distribución normal perfecta, la “moda”, coincide con la media y la mediana. Una distribución normal indica que la población es homogénea respecto de la variable que se analiza. No es necesario estratificar poblaciones con esta distribución.



- 2) **La distribución “bimodal”** cuenta con dos modas. El histograma muestra dos cimas. Si la distribución muestra más de dos cimas, se la denomina multimodal. Las distribuciones bimodal o multimodal son heterogéneas. Si la variable representa una importante característica de la población, entonces debería estratificarse para obtener sub poblaciones de distribución normal.

- 3) **La distribución “asimétrica”** presenta concentración de unidades de muestreo con valores extremos. Esto genera un pico pronunciado



inclinado hacia uno u otro lado del histograma. Las unidades asociadas a valores extremos se consideran por fuera de la frecuencia principal de la distribución. La distribución asimétrica también es heterogénea. Si la variable representa una importante

característica de la población, entonces debería estratificarse para crear dos o más poblaciones de distribución normal.

Para métodos de estratificación, véase *Anexo C - Metodologías para la estratificación de poblaciones*, página 22.

Factores que influyen sobre el tamaño de la muestra

Las limitaciones presupuestarias o temporales hacen que en ciertas oportunidades resulte necesario revisar el alcance del trabajo, o iterar con los niveles de confianza y error de muestreo hasta adecuar el tamaño de la muestra a las posibilidades reales. En el extremo, será necesario abandonar

las pretensiones de llevar a cabo un muestreo probabilístico, y volcar los esfuerzos a la elección del mejor método de muestreo no probabilístico. Pero además del *error de muestreo* -página 7- y de la *confianza* -página 8-, en rigor, las únicas dos variables endógenas, existen otros factores que influyen sobre el tamaño de la muestra:

- 1) La **dispersión**. Cuanta mayor variabilidad en los valores de un atributo, menos preciso será el estimador, por lo que se requiere de tamaños de muestra más grande frente a un mismo error de muestreo asumido.
- 2) La **proporción de un atributo**. Incide en virtud de su frecuencia relativa y de tal forma que cuanto más cercana al 50%, más grande deberá ser el tamaño de la muestra. Si bien la proporción puede ser estimada a grandes rasgos a los efectos de introducir el dato en la fórmula, en caso de imposibilidad para hacer este cálculo preliminar, debe recurrirse, justamente, a calcular el tamaño de muestra bajo un criterio conservador, es decir, asumiendo que la proporción es del 50%, de modo de obtener el máximo tamaño de muestra posible. Este concepto es equivalente al de “error esperado”, que se encuentra en algunas fórmulas para la estimación del tamaño de muestra.
- 3) El **tamaño de la población**. A medida que la población aumenta de tamaño, en especial cuando $N > 1000$, su tamaño incide cada vez menos sobre el tamaño de la muestra, obteniéndose grandes economías. A grandes trazos, el análisis de una parte cada vez menor de una población cada vez más grande, es suficiente para concluir sobre la población.

Planes de muestreo probabilístico¹

Es importante armonizar el programa de muestreo con el tipo de análisis requerido para que las muestras sean representativas. El programa de muestreo comprende, como ya fuera dicho, el plan de muestreo, la determinación del error de muestreo, los procedimientos a utilizar y los planes para analizar e interpretar los resultados. La elección de un plan depende básicamente de las características poblacionales y de los objetivos perseguidos por el auditor. La combinación cuidadosa de planes es una posibilidad a la que puede acudir.

A continuación se presenta un detalle de los planes de muestreo probabilístico más usuales, como el muestreo simple al azar, el muestreo sistemático, el muestreo estratificado, el muestreo por conglomerados, el muestreo por materialidad y el muestreo de descubrimiento.

¹ Este capítulo debe leerse en conjunto con el “Anexo A - Ayuda para la elección de planes de muestreo probabilístico”, página 19, que asiste en la toma de decisiones para la identificación del plan óptimo. Ese mismo anexo conduce a las fórmulas y tablas a ser utilizadas para hacer operativo el plan elegido.

Muestreo simple al azar

Es el método más sencillo para muestrear y para reportar resultados. Consiste en extraer una cierta cantidad de unidades de muestreo de una población, cuando la probabilidad de extracción de cada unidad es igual a la de cualquier otra unidad. Si la población fuera pequeña, puede utilizarse la reposición para tener la posibilidad de extraer una unidad más de una vez.

Limitaciones

- Requiere de una lista precisa de las unidades de muestreo, que puedan identificarse y numerarse. Se puede, tal vez, numerar cada expediente de un procedimiento de compras, pero no se puede enumerar ni identificar exhaustivamente a los pacientes ambulatorios que van a atenderse a un hospital público en determinado momento.
- Cada unidad de muestreo debe tener la misma probabilidad de ser elegido que cualquier otra unidad.
- Puede no resultar un método económico si una muestra a lo largo del territorio implica gran cantidad de visitas. Por ejemplo, supóngase que $n=430$, para analizar determinados atributos en una población conformada por municipios.
- Es poco económico frente a determinadas circunstancias, como cuando llevar a cabo el procedimiento de auditoría implica la destrucción de la unidad muestreada. En estos casos, el muestreo simple al azar ofrece tamaños de muestra mayores que otros métodos más específicos.

Muestreo sistemático

Es un método sumamente intuitivo para relevar padrones, y cómodo para casos en los que la información no está digitalizada. La aplicación del método consiste básicamente en calcular " n " como en el muestreo simple al azar, calcular el intervalo de muestreo " $t=N/n$ ", y elegir al azar la primera unidad de muestreo " a " dentro del primer intervalo de muestreo " i ". Luego se extrae cada i -ésima unidad " $t.i+a$ ".

Limitaciones

- Es equivalente a un muestreo agrupado del que se extrae un solo grupo, por lo que pierde robustez en cuanto a la representatividad esperada. Para intentar neutralizar este efecto, se puede elegir más de un grupo (en términos prácticos, habrá de elegirse una unidad " a " situada entre 1 y t , y al menos una unidad " $b \neq a$ ", también situada entre 1 y t y seguir el procedimiento de extracción a partir de " a " y de " b "). No obstante, esto atenta contra la eficiencia del plan ya que implica un derroche de recursos frente al muestreo simple al azar.
- No permite identificar periodicidad oculta. Por ejemplo, frente a mayores ventas los primeros sábados del mes, o asignaciones de planes sociales antes de fin de mes.
- No permite identificar sistematicidad oculta. Por ejemplo, considérese un diente defectuoso en un engranaje, y que ese diente incida sobre cierto lote de productos.

Muestreo estratificado

Es un muestreo en el que bajo el requisito de tener que arribar a resultados globales, la población es previamente estratificada en grupos homogéneos, asegurando simultáneamente –y justamente de esa manera- que todos los estratos estén representados, como por ejemplo por niveles educativos, género o edad. Los estratos pueden tener idéntica proporción de muestra, o se le puede dar mayor peso relativo a estratos significativos desde el punto de vista del análisis.

A modo de ejemplo, supóngase que se desea relevar el éxito de un plan gubernamental cuyo objetivo es disminuir la tenencia doméstica de armas de fuego. Se divide el país en áreas urbanas, suburbanas y rurales a los efectos de asegurar una muestra representativa de las diversas realidades.

Limitaciones

- Cálculos complejos para estimar la precisión.

Muestreo agrupado

También denominado por conglomerados, o por regiones, es un muestreo en el que las unidades usualmente se encuentran distribuidas geográficamente o repartidas en conglomerados. Escuelas, hogares o localidades son ejemplos característicos. Se espera que los conglomerados sean homogéneos entre sí, aunque haya heterogeneidad dentro de cada conglomerado. La presencia de heterogeneidad dentro de los conglomerados deberá ser considerada como en cualquier otro caso. En este método de muestreo, la selección al azar se realiza en dos etapas: la primera de ellas consiste en elegir cierta cantidad de conglomerados, para luego elegir al azar cierta cantidad de unidades de muestreo dentro de los conglomerados. Resulta cómodo y eficiente para el muestreo que implica la realización de visitas o inspecciones in situ.

Limitaciones

- Es menos preciso que el estratificado debido a la posible presencia de heterogeneidad dentro de cada conglomerado, lo que resulta en un tamaño de muestra mayor para compensar el mayor error de muestreo, frente a idénticas circunstancias, en otro plan de muestreo.

Muestreo por materialidad

También denominado MUM (muestreo de unidades monetarias), MUS (*monetary unit sampling*), PPS (*probability proportional to size sampling*), DUS (*dólar unit sampling*), consiste en seleccionar unidades de muestreo de acuerdo a su tamaño relativo, por lo que unidades más grandes tienen mayor probabilidad de ser elegidas que unidades más pequeñas. En el muestreo por materialidad, la población está conformada por todos y cada uno de los pesos que contienen los comprobantes a auditar. De ese modo, si se contara con tres comprobantes, uno por 100, otro por 200 y otro por 300, la población estaría constituida por todos y cada uno de los 600 pesos que totaliza la suma, y no por 3 comprobantes. Debido a la imposibilidad de auditar un peso, se audita la “unidad lógica” que lo contiene (la factura, el

instrumento de deuda, etc.). Es un muestreo híbrido entre el estratificado y el sistemático.

Limitaciones

- Válido para variables numéricas con distribuciones asimétricas.
- Es complejo aumentar el tamaño de muestra.
- Unidades de muestreo con valor igual a cero no quedan seleccionadas por ser inmateriales (a tamaño = 0, probabilidad de extracción = 0).

Muestreo de descubrimiento

Se trata de un muestreo que combina la selección de unidades de muestreo con una regla de decisión. De acuerdo a la cantidad de errores encontrados, la regla de decisión conducirá a aceptar o rechazar la población, o bien a ampliar la muestra. El método es apropiado para utilizar cuando el error esperado es bajo (ver *"Factores que influyen sobre el tamaño de la muestra"*, página 10). En ese caso resulta aplicable al muestreo de poblaciones costosas de destruir o costosas de muestrear, ya que reduce sensiblemente el costo de la auditoría. Ejemplos de aplicaciones son: vacunas, material militar, procedimientos, *crush tests*.

Limitaciones

- Requiere que la unidad a analizar tenga un grado muy bajo de error, por lo que requiere que se conozca, al menos aproximadamente, el error esperado.

Planes de muestreo no probabilístico

El muestreo no probabilístico tiene, como se expuso anteriormente, algunas limitaciones que impiden generalizar (*"Precauciones con el muestreo no probabilístico"*, página 5). No obstante, resulta útil su aplicación, a la que se recurre con frecuencia debido a limitaciones de diversa índole para poder practicar un muestreo probabilístico. A continuación se presentan diversas estrategias, aunque vale decir que la estrategia ideal suele ser la combinación de una o más estrategias puntuales. La elección correcta es determinante para obtener datos enriquecedores, de los cuáles se puedan extraer conclusiones que aporten a la comprensión del objeto de análisis de manera insesgada.

"La lógica y el poder del muestreo no probabilístico se basa en la selección de casos enriquecedores para estudiar en profundidad. El análisis de casos conduce a una mayor comprensión, más que a la posibilidad de realizar generalizaciones empíricas."

QUINN PATTON, Michael.
Qualitative research and evaluation methods.

Caso extremo

Consiste en elegir una manifestación extrema e inusual del fenómeno de interés. Por ejemplo, algún caso de éxito sobresaliente, fracaso notable, eventos exóticos, crisis, entre otros. Su estudio permite en el mejor de los casos, y en contraste con casos intensos, identificar cuáles han sido las variables más significativas para derivar en el resultado observado.

Caso intenso

Es la inversa del caso extremo. Se elige una cierta cantidad de casos homogéneos entre sí, descartando todas las otras posibilidades. Es útil si el caso homogéneo es significativo y se puede descartar al resto sin riesgos. Ej.: buenos estudiantes, malos estudiantes. El estudio del caso homogéneo permite identificar hallazgos recurrentes.

Máxima variación

Consiste en elegir una diversidad de casos heterogéneos que permitan identificar patrones (como una manera de cortar a través del “ruido” de la variación). Por ejemplo, mediante el análisis de casos de éxito y de fracaso en ayudas para el inicio de micro emprendimientos, podría encontrarse que la atención ha sido homogénea, y que la demora promedio no permite observar diferencias significativas entre unos y otros, pero que la inscripción a un curso introductorio ha incidido sobre el resultado.

Caso típico

Una muestra estadística puede no ser necesaria si se desea meramente ilustrar sobre la frustración experimentada por la clase media frente a casos impunes de corrupción, o acerca de la existencia o no de conciencia por parte de la población sobre el poder contaminante de los metales pesados en el agua. Requiere familiaridad con el asunto a analizar, o bien recurrir a personas que puedan informar o guiar respecto de las características poblacionales. No obstante, no se sugiere este método cuando se entienda que pueda haber diversidad de opiniones por parte de los usuarios del informe.

Caso paradigmático

Ocasionalmente se encuentra un caso que permite analizar las fortalezas y debilidades de los controles. Suele ser uno en el que se vulneran, tal que permite concluir que si este caso ha vulnerado los controles, el resto de los casos los podría vulnerar. Por ejemplo, si una orden de pagos fue emitida sin una autorización, de no mediar cambios en el procedimiento o en los controles, esa posibilidad seguirá existiendo. Las tragedias son considerados casos paradigmáticos que, al hacerse visibles, impulsan inmediatamente la aplicación de medidas correctivas (uso de bengalas en lugares cerrados, suficiencia de botes salvavidas, porcentaje de alcohol en sangre, etc).

Bola de nieve

Es la estrategia a la que se acude cuando se desean analizar ciertas unidades que resulta en extremo difícil identificar o encontrar, ya que por lo general, se encuentran ligadas a actividades ilícitas. Si se consigue encontrar un caso, es posible que éste lo conduzca a un segundo caso, y así sucesivamente. Es una estrategia útil para estudios especiales y en auditorías forenses preliminares con el objeto de descubrir irregularidades, fraude, o esquemas de corrupción.

Criterio

Consiste en elegir *todos* los casos que responden a un atributo de interés. Las conclusiones de esta estrategia no son extrapolables. Cuando se elige auditar todos los documentos asociados a valores extremos se está aplicando esta estrategia. Ej.: niños abusados, expedientes prolijos, valores más altos, etc. Esta estrategia está asociada con la estratificación y el “instinto del auditor”, por lo que en caso de tender a elegir esta estrategia, se sugiere antes releer “*Estratificación y homogeneidad*”, página 8.

Oportunista

Ocasionalmente, asuntos no previstos pueden surgir durante las tareas de campo, por lo que se realiza una muestra *ad-hoc* para explorar el asunto con mayor detenimiento. La escasez de recursos o de tiempo suficiente para llevar adelante una planificación precisa, aumentan la probabilidad de tener que recurrir a esta estrategia de muestreo, debiendo evaluarse la necesidad de modificar el alcance o los recursos de la auditoría en curso para conducir, eventualmente, un muestreo probabilístico. No es infrecuente que la estrategia oportunista consista en el estudio de un caso paradigmático que se hace visible una vez iniciadas las tareas de campo.

Casos de interés

Son casos que atraen la atención pública, por lo que habrá que evaluar cuidadosamente la conveniencia de extraerlos o incluirlos de la población de interés de acuerdo a los objetivos perseguidos por la auditoría.

Conveniencia

Se trata de hacer aquello que ahorra tiempo, dinero o esfuerzo. De racionalidad limitada y nula credibilidad, hay que evitar este tipo de muestreo lo máximo posible. Suele ser utilizado por el periodismo para ilustrar con sesgo.

Reporte del programa de muestreo

Con posterioridad al programa de muestreo es necesario documentarlo. La noción que debe guiar este proceso es que un tercero debería poder replicar el procedimiento sin otra asistencia

que el documento escrito. Si ello se cumple, entonces también podrá evaluar el procedimiento realizado, con el fin de opinar sobre su robustez. A continuación se encuentra una síntesis del contenido mínimo que habrá de explicitarse y resguardarse convenientemente.

En la sección del informe que se refiere al alcance del trabajo de auditoría se deberá explicar claramente las técnicas que se hayan empleado para obtener y analizar la

evidencia necesaria para cumplir los objetivos de la auditoría. Con ese propósito, se indicarán todas las hipótesis que se hayan establecido durante la ejecución de la auditoría; se describirán las técnicas comparativas que se hayan aplicado; se expondrán los criterios e indicadores que se hayan utilizado

“En la sección del informe que se refiere al alcance del trabajo de auditoría se deberá explicar claramente las técnicas que se hayan empleado para obtener y analizar la evidencia necesaria para cumplir los objetivos de la auditoría. (...)en caso de que se hayan empleado métodos de muestreo, se explicará la forma en que se diseñó la muestra y las razones por las cuales se seleccionó.”

Normas de Auditoría Externa de la Auditoría General de la Nación, IVg - 1 INFORMES

para evaluar el desempeño y, en caso de que se hayan empleado métodos de muestreo, se explicará la forma en que se diseñó la muestra y las razones por las cuales se seleccionó.

Qué documentar en el caso de muestreo probabilístico

Admitida la existencia de errores cualquiera sea la muestra, como principio general es necesario ofrecer en el reporte todos los elementos de juicio necesarios como para que se conozca el grado de error estadístico con el que se ha trabajado, y como para que se pueda evaluar la presencia potencial de errores no atribuibles al muestreo.

Entre la información que debe contener el reporte, cabe destacar la siguiente:

- El plan de muestreo probabilístico utilizado y las razones por las cuales se ha elegido.
- Protocolo de muestreo.
- El error de muestreo: usualmente reportado a partir del tamaño de población, el tamaño de la muestra, el error de muestreo propiamente dicho y el nivel de confianza con el que se ha trabajado.
- Proporcionalidad en el peso de los estratos (si corresponde).
- La magnitud del error no atribuible al muestreo no se puede conocer con precisión, pero es importante hacer alguna declaración de procedimientos que permita al usuario evaluar este aspecto. Para ello será necesario incluir información básica respecto del método utilizado para recabar información. Si se ha recurrido a una encuesta declarar quién la hizo, en qué fecha, su propósito general, además de ofrecer una idea sobre las preguntas se han hecho a las unidades muestreadas. Las encuestas deberán formar parte de los papeles de trabajo.

- Mientras que buena parte de los errores no atribuibles al muestreo pueden neutralizarse mediante una buena metodología, es difícil prever y controlar el nivel de respuestas. En consecuencia, es importante declarar este nivel y evaluar el impacto potencial que pueda llegar a tener en los resultados del estudio.

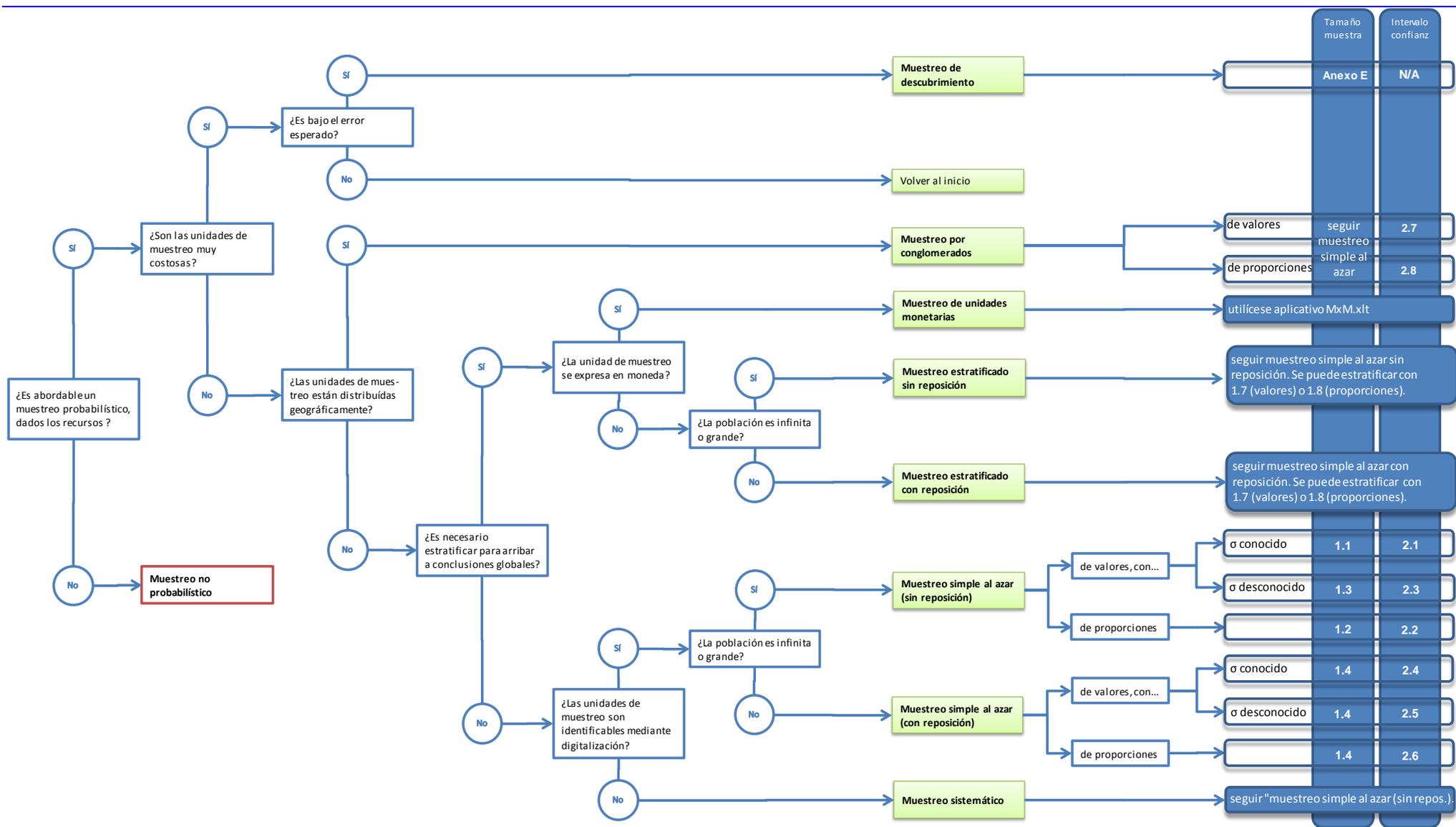
Qué documentar en el caso de muestreo no probabilístico

La regla general no difiere de la expuesta en el título anterior.

Entre la información que debe contener el reporte, cabe destacar la siguiente:

- El plan de muestreo no probabilístico utilizado (o sus combinaciones).
- Protocolo de muestreo: en lenguaje plano, describir cómo fue seleccionada la muestra.
- La cantidad de casos analizados.
- Incluir alguna información básica respecto del método utilizado para recabar información. Si se ha recurrido a una encuesta, declarar título de la encuesta, quién la hizo, en qué fecha, y propósito general: qué clase de preguntas se han hecho a las unidades muestreadas.
- Mientras que buena parte de los errores no atribuibles al muestreo pueden neutralizarse mediante una buena metodología, es difícil prever y controlar el nivel de respuestas. En consecuencia, es importante declarar este nivel y evaluar el impacto potencial que pueda llegar a tener en los resultados del estudio.

Anexo A - Ayuda para la elección de planes de muestreo probabilístico



Anexo B - Errores no atribuibles al muestreo²

Preguntas ambiguas

Preguntas poco claras per se, o no asociables fácilmente con las respuestas posibles. Uno de los posibles orígenes de este problema radica en las diferencias entre el nivel educativo y socio económico del encuestado respecto de la persona que ha diseñado las encuestas, o diferencias en el nivel de conocimiento técnico. Un ejemplo de pregunta ambigua es: ¿Le parece a usted posible o le parece imposible que la educación media no llegue a ser de calidad?

Preguntas anidadas

Hacer dos preguntas en una. Por ejemplo.: ¿Considera que los mandos medios son proactivos y están bien preparados? Para estos casos deberá separarse la pregunta en dos u –aunque menos preferible– ofrecer respuestas combinadas.

Preguntas correlativas

Una pregunta cuya respuesta está relativamente condicionada por la anterior. Ej.: ¿Cuenta esta localidad con un basural a cielo abierto? ¿Está de acuerdo con la implantación de un relleno sanitario?

Respuestas por reputación

Idealmente las preguntas deben estar despersonalizadas. No es lo mismo preguntar a una persona si alguna vez acosó sexualmente a otra en su trabajo, a preguntarle si considera que el acoso sexual en su trabajo es un problema existente.

Respuestas por conveniencia

Preguntas que originan respuestas que potencialmente redunden en perjuicio o beneficio para el encuestado. Ej.: ¿Considera positivo que existan planes de desempleo por tiempo indeterminado?

Falta de respuesta

Se trata de una amenaza a la validez de las conclusiones. Toda vez que se lleve a cabo una encuesta, las personas que no están disponibles o aquellas que se niegan a contestar pueden pertenecer a un estrato distinto, cuya no inclusión podría conducir a conclusiones erróneas. Habrá que analizar para cada caso, y ahondar de ser necesario, el motivo por el que se obtiene un bajo índice de respuesta.

Procedimientos ambiguos

Es importante contar con criterios pre-definidos para evaluar las unidades muestreadas. Es buena idea hacer un breve relevamiento previo para conocer en detalle qué información está disponible, y qué es más relevante para la auditoría en curso. Luego, una lista de criterios y procedimientos debe ser elaborada para estandarizar el análisis de cada unidad. Si los criterios son muy generales o ambiguos, entonces cada analista puede aplicar distintos procedimientos. También debe estandarizarse el modo de abordar a una unidad muestreada en caso de llevarse a cabo una encuesta.

Ponderación incorrecta

² Este anexo es referenciado en “Error no atribuible al muestreo”, página 8.

La ponderación es especialmente importante para cierto tipo de plan de muestreo. Los pesos relativos utilizados deben reflejar adecuadamente los pesos de cada estrato, o la significatividad de cada uno de ellos.

Cobertura inapropiada

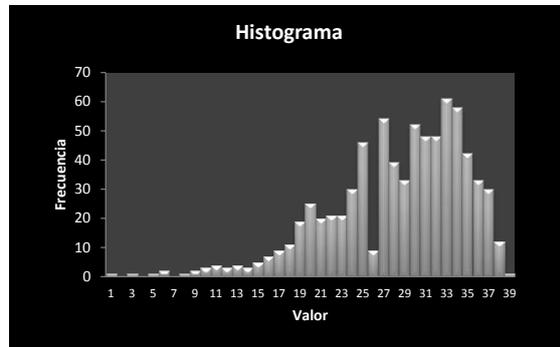
La cobertura se refiere a qué tan bien la lista de unidades de muestreo incluye a todos los miembros de la población y excluye a todos los que no deberían considerarse miembros de la población, lo que se logra mediante un protocolo de muestreo. Por ejemplo, utilizar una guía telefónica para encuestar a amas de casa excluye a todas aquellas que no tienen su número publicado y a aquellas que no tienen teléfono fijo. Cuando se realizan pruebas sustantivas, la imposibilidad de acceder o analizar archivos merece redefinir la población.

Falsificación o equívocos

Para encuestas grandes con muchos encuestadores, puede haber incentivos para falsificar las encuestas durante dos horas en vez de llevarlas a cabo concienzudamente durante 8 horas diarias. El equívoco también está asociado al aburrimiento y al cansancio que genera un procedimiento muy extenso. La fuente de error puede ser tanto el encuestador como el encuestado.

Anexo C - Metodologías para la estratificación de poblaciones³

Las variables cualitativas o atributos permiten dividir fácilmente una población de acuerdo a los valores discretos de las variables, pero cuando se trata de variables numéricas, no es tan sencillo estratificar una población. Si la distribución es bimodal (ver “*Distribución de probabilidades*”, página 9), se puede estratificar hacia uno y otro lado del “valle”. Si la distribución es asimétrica (ver ídem), es necesario separar a las unidades extremas. Para estos casos se puede emplear el “Método de Tukey” o el “Método de la raíz cuadrada acumulada”:



Método de Tukey para poblaciones asimétricas:

Para corte de altos valores

$$3^{\text{er}} \text{ cuartil} + 1.5 * (3^{\text{er}} \text{ cuartil} - 1^{\text{er}} \text{ cuartil}), \text{ o bien,}$$

Para corte de bajos valores

$$1^{\text{er}} \text{ cuartil} - 1.5 * (3^{\text{er}} \text{ cuartil} - 1^{\text{er}} \text{ cuartil}).$$

Método de la raíz cuadrada acumulada para poblaciones asimétricas:

Parte de hacer un histograma. Luego se crea una nueva variable igual al cuadrado de la cantidad de registros en cada categoría. Luego se realiza la sumatoria de valores de esa variable y se la divide por la cantidad de estratos definidos, número que será el tamaño del intervalo por el que se dividirá la población. Comenzando por los valores más bajos, deberán agruparse las unidades cuya suma acumulada de la raíz cuadrada equipare al tamaño del intervalo. Si el tamaño del intervalo es muy grande, habrá que redefinir la cantidad de categorías del histograma.

Resolución por método de Tukey

En este ejemplo, el valor del primer cuartil (valor que separa el primer 25% de los datos) es 23. El valor del tercer cuartil (valor que separa el último 25% de los datos) es 32.

Por lo tanto, cortar los valores bajos (extraerlos de la frecuencia) implica resolver la siguiente fórmula: $23 - 1,5 \times (32 - 23) = 9,5$

Por lo tanto, y a los efectos de homogeneizar la población, es correcto quedarse con dos sub poblaciones, una con valores de 0 a 9 y otra con valores de 10 a 39.

³ Este anexo es referenciado en “*Estratificación y homogeneidad*”, página 8.

Anexo D - Fórmulas⁴

Cálculo del tamaño de muestra para muestreo simple al azar

$$(1.1) \quad n = \frac{Z^2 \cdot \sigma^2}{e^2}$$

Donde

Z: valor de la función normal para un determinado nivel de confianza C (ver “Anexo F – Valores de la distribución Normal”, página 28).

σ : desvío estándar poblacional.

e: error de muestreo en valores absolutos. Por ejemplo, si se asume que el valor del parámetro no se puede alejar del valor del estimador en +/- 5, entonces e = 5.

$$(1.2) \quad n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{E^2}$$

Donde

Z: valor de la función normal para un determinado nivel de confianza C (ver “Anexo F – Valores de la distribución Normal”, página 28).

p: proporción de la población con la característica buscada. Estimarla si fuera necesario, o utilizar 0,5 si fuera imposible estimarla.

E: error de muestreo en valores porcentuales. Por ejemplo, si se asume que el valor del parámetro no se puede alejar del valor del estimador en +/- 5%, entonces E = 5%.

$$(1.3) \quad n = \frac{t^2 \cdot S^2}{e^2}$$

Donde

t: valor de la función *t-student* para un determinado nivel de confianza C y N-1 grados de libertad (ver “Anexo G – Valores de la distribución *t-student*”, página 29).

S: desvío estándar muestral.

e: error de muestreo en valores absolutos. Por ejemplo, si se asume que el valor del parámetro no se puede alejar del valor del estimador en +/- 5, entonces e = 5.

$$(1.4) \quad n' = \frac{n \cdot N}{n + (N - 1)}$$

Donde

n: es el tamaño no ajustado según las fórmulas anteriores.

N: tamaño de la población.

⁴ Viene de “Anexo A - Ayuda para la elección de planes de muestreo probabilístico”, página 19.

Determinación del tamaño de muestra para muestreo de descubrimiento, con 0 errores esperados

$$(1.5) n = \frac{\text{Ln}(1 - E)}{\text{Ln}(1 - P)}$$

Donde

E: valor porcentual del error de muestreo admisible.

P: valor porcentual del error tolerable admisible.

Distribución óptima de *n* entre los distintos estratos:

Si un 20% de la población pertenece al estrato A, y un 80% de la población pertenece al estrato B, para un tamaño de muestra $n=100$, se puede aplicar alguno de los siguientes 3 métodos:

El primero consiste en dividir n de acuerdo a la proporción de cada estrato, por lo que $n_A=20$ y $n_B=80$.

El segundo consiste en darle mayor proporción a algunos estratos y menos a otros, porque interesa disminuir el error de muestro en aquel que resulte más significativo para el análisis. De este modo podrá suceder que $n_A=15$ y $n_B=85$.

El tercero consiste en distribuir n de manera óptima entre los distintos estratos, de modo de analizar relativamente más unidades de muestreo de aquel cuyos valores estén más dispersos. Para ello deberá aplicarse la fórmula 1,7 (media) o 1.8 (proporciones):

$$(1.7) n_j = \frac{N_j \cdot \sigma_j}{\sum_{j=1}^k N_j \cdot \sigma_j} \cdot n$$

Donde

n_j : es el tamaño de muestra del estrato j .

N_j : tamaño del estrato j .

σ_j : desvío estándar del estrato j en valores absolutos.

n : tamaño de muestra de acuerdo a fórmula correspondiente de muestreo simple al azar.

$$(1.8) n_j = \frac{N_j \cdot \sqrt{p_j \cdot (1 - p_j)}}{\sum_{j=1}^k N_j \cdot \sqrt{p_j \cdot (1 - p_j)}} \cdot n$$

Donde

n_j : es el tamaño de muestra del estrato j .

N_j : tamaño del estrato j .

p_j : proporción del estrato j con la característica buscada.

n : tamaño de muestra de acuerdo a fórmula correspondiente de muestreo simple al azar.

Intervalos de confianza

$$(2.1) \left[\bar{X} - Z \cdot \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right); \bar{X} + Z \cdot \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \right]$$

Donde

\bar{X} : media muestral.

El resto de las variables se explicitan en la fórmula de tamaño de muestra.

$$(2.2) \left[p_s - Z \cdot \sqrt{\frac{p_s \cdot (1 - p_s)}{n}}; p_s + Z \cdot \sqrt{\frac{p_s \cdot (1 - p_s)}{n}} \right]$$

Donde

p_s : proporción muestral.

El resto de las variables se explicitan en la fórmula de tamaño de muestra.

$$(2.3) \left[\bar{X} - t_{n-1} \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right); \bar{X} + t_{n-1} \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right) \right]$$

Donde

\bar{X} : media muestral.

El resto de las variables se explicitan en la fórmula de tamaño de muestra.

$$(2.4) \left[\bar{X} - Z \cdot \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \cdot \left(\sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right); \bar{X} + Z \cdot \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \cdot \left(\sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right) \right]$$

Donde

\bar{X} : media muestral.

El resto de las variables se explicitan en la fórmula de tamaño de muestra.

$$(2.5) \left[\bar{X} - t_{n-1} \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right) \cdot \left(\sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right); \bar{X} + t_{n-1} \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right) \cdot \left(\sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right) \right]$$

Donde

\bar{X} : media muestral.

El resto de las variables se explicitan en la fórmula de tamaño de muestra.

$$(2.6) \left[p_s - Z \cdot \sqrt{\frac{p_s \cdot (1 - p_s)}{n}} \cdot \left(\sqrt{\frac{N - n}{N - 1}} \right); p_s + Z \cdot \sqrt{\frac{p_s \cdot (1 - p_s)}{n}} \cdot \left(\sqrt{\frac{N - n}{N - 1}} \right) \right]$$

Donde

p_s : proporción muestral.

El resto de las variables se explicitan en la fórmula de tamaño de muestra.

$$(2.7) [\bar{X} - Z \cdot S_{\bar{X}} < \mu < \bar{X} + Z \cdot S_{\bar{X}}]$$

Donde

\bar{X} : media muestral.

$S_{\bar{X}}$: desvío estándar de la media muestral.

μ : media poblacional.

El resto de las variables se explicitan en la fórmula de tamaño de muestra.

$$(2.8) [\hat{p} - Z \cdot S_{\hat{p}} < p < \hat{p} + Z \cdot S_{\hat{p}}]$$

Donde

\hat{p} : proporción muestral.

$S_{\hat{p}}$: desvío estándar de la proporción muestral.

p : proporción poblacional.

El resto de las variables se explicitan en la fórmula de tamaño de muestra.

Anexo E - Tamaño de muestra para muestreo de descubrimiento⁵

		Error tolerable "P"									
Error de muestreo "E"	Número de errores	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
5%	0	298	148	98	73	58	48	41	36	32	28
	1	473	235	156	117	93	77	66	57	51	46
	2	627	313	208	155	124	103	88	77	68	61
	3	773	385	256	191	153	127	108	95	84	75
10%	0	229	114	76	56	45	37	32	28	24	22
	1	388	193	128	96	76	63	54	47	42	37
	2	531	264	176	131	105	87	74	65	57	52
	3	666	332	221	165	132	109	94	82	72	65
15%	0	189	94	62	46	37	31	26	23	20	18
	1	336	167	111	83	66	55	47	41	36	33
	2	471	235	156	117	93	77	66	58	51	46
	3	600	299	199	149	119	99	84	74	65	59
20%	0	160	80	53	39	31	26	22	19	17	15
	1	298	149	99	74	59	49	42	36	32	29
	2	427	213	141	106	84	70	60	52	46	42
	3	550	274	183	137	109	91	78	68	60	54

⁵ Viene de "Anexo A - Ayuda para la elección de planes de muestreo probabilístico", página 19. Para cero número de errores, se puede calcular el tamaño de muestra mediante la fórmula 1.5.

Anexo F – Valores de la distribución Normal⁶

Confianza ⁷	Valor de Z
80%	1,28
85%	1,44
90%	1,65
95%	1,96
99%	2,58

⁶ Viene de “Anexo A - Ayuda para la elección de planes de muestreo probabilístico”, página 19.

⁷ Corresponde al área entre 0 y z, multiplicada por dos. De ese modo, el valor de α a dos colas será igual a $(1-\text{confianza})/2$.

Anexo G – Valores de la distribución t-student⁸

Confianza ⁹	Valor de t para N-1 =					
	10	25	50	100	500	∞
80%	1,372	1,316	1,299	1,290	1,283	1,282
85%	1,592	1,512	1,487	1,475	1,465	1,463
90%	1,812	1,708	1,676	1,660	1,648	1,645
95%	2,228	2,059	2,009	1,984	1,965	1,960
99%	3,169	2,787	2,678	2,626	2,576	2,576

⁸ Viene de “Anexo A - Ayuda para la elección de planes de muestreo probabilístico”, página 19.

⁹ Corresponde al área entre 0 y z, multiplicada por dos. De ese modo, el valor de α a dos colas será igual a $(1-\text{confianza})/2$. Nótese la similitud de los valores de la función t-student y la función normal cuando N tiende a infinito.

Bibliografía

- CRAUS, Joseph. 1996. *Tablas para estadística* (Buenos Aires: Editorial Estadística Sudamericana – Editesa)
- FOWLER NEWTON, Enrique. 1972. *El muestreo estadístico aplicado a la auditoría* (Buenos Aires: Macchi).
- MALENOSKI BENEZET, Jorge A. 1974. “Auditoría y muestreo estadístico”, en *Administración de empresas* Vol. 5-A (Buenos Aires).
- NATIONAL AUDIT OFFICE. A practical guide to sampling (London: NAO, Statistical & Technical Team)
- PILON, Paul. 2006. *OAG Sampling guide for performance audits* (Minister or Public Works and Government Services Canada).
- QUINN PATTON, Michael. 1990. *Qualitative research and evaluation methods* (Londres. Sage Publications Ltd).
- TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. 2002. *Técnicas de amostragem para auditorias* (Brasília: TCU, Secretaria-Adjunta de Fiscalização).
- UNITED STATES GENERAL AUDIT OFFICE. 1992. *Using Statistical Samplig - Revised May 1992*. (GAO, Program Evaluation and Methodology Division).
- WAMPLER, Bruce y Michelle McEacharn. 2005. “Monetary-unit sampling using Microsoft Excel”, en *The CPA journal* (www.nysscpa.org/printversions/cpaj/2005/505/p36.htm).
- WHITTINGTON, O. Ray y Kurt Pany. 1998. *Principles of auditing* (The McGraw-Hill Companies, Inc.). Traducción al castellano de Gladys Arango Medina, “Capítulo 9. Muestreo en auditoría”, en *Auditoría. Un enfoque integral. 12ª edición* (Bogotá: McGraw Hill Interamericana S.A., 2000).