

# LA INFERENCIA EN MUESTREO DE POBLACIONES FINITAS Y EL ANALISIS DE DATOS DE ENCUESTAS

Mario Miguel Ojeda, Laboratorio de Investigación y Asesoría Estadística, LINAIE, Facultad de Estadística e Informática, Universidad Veracruzana

## RESUMEN

En este artículo se presenta una revisión panorámica y sintética de la inferencia estadística en poblaciones finitas. El problema formal de inferencia en los casos de poblaciones finitas e infinitas es revisado en una perspectiva histórica. También se incluyen algunos comentarios al análisis de datos de encuestas complejas.

## ABSTRACT

This paper presents an enlarge and synthetic review of the statistical inference in finite populations. The formal problem of inference in both finite and infinite populations is reviewed on a historical perspective. Some comments to complex samples survey data analysis are also included.

**Key words:** inference in finite populations; predictive approach; survey sampling; data analysis of complex samples; superpopulation models.

MSC: 62D05

## 1. INTRODUCCION

A muchos investigadores en áreas como ciencias sociales y de la conducta los métodos de análisis estadístico les son requeridos en el contexto de una investigación que involucra una encuesta; es decir, ellos requieren de la estadística para analizar los datos de una encuesta. Es muy probable que decidan elaborar tablas, gráficas y obtengan promedios y totales basados en cálculos de frecuencias de diferentes categorías asociadas a una o varias preguntas en el cuestionario. Para estos investigadores la inferencia estadística, en caso de que la usen, será la relacionada con el área de la estadística conocida como muestreo. Sin embargo, algunos de ellos habrán tomado alguna vez un curso de **métodos estadísticos para ciencias sociales**, en el que se habrá revisado técnicas populares como la prueba de Ji-cuadrada, el análisis de regresión y el análisis de varianza. Así que entonces tendrán ante sí el panorama de dos aparentes tipos de inferencia estadística: la asociada con el muestreo probabilístico de poblaciones finitas (Cochran, 1977) y la del curso de métodos estadísticos (Lehtonen and Pahkinen, 1995). La experiencia del autor (Ojeda, 1990; 1992; 1995) le indica que muchos investigadores que usan la encuesta por muestreo creen que la inferencia estadística para muestreo es distinta que la inferencia estadística general.

En el caso del investigador de ciencias sociales es justificable, pero no es justificable que el estadístico o algún otro profesional con cierto nivel de formación en metodología estadística (actuario o matemático aplicado) considere al muestreo como un área distinta de la inferencia estadística en general. Aunque habría que decir que los principales textos tratan así al muestreo y, por lo tanto, la mayoría de los cursos reproducen este esquema. Podríamos entonces formular la pregunta: ¿es el muestreo un área distinta de la inferencia estadística?, y podríamos ir más allá planteando la siguiente cuestión: ¿es válido analizar los datos de una encuesta a través de los métodos y modelos inferenciales tradicionales, digamos los de regresión, los loglineales y los de análisis de varianza?

Estas preguntas adquieren importancia debido a que las encuestas probabilísticas se usan profusamente, y con bastante frecuencia los objetivos del estudio o investigación bajo el que se instrumenta el muestreo van mucho más allá de lo que el cálculo de totales, medias, frecuencias y porcentajes pueden proveer.

En las encuestas generalmente interesa estudiar y modelar relaciones causales, lo que hace inevitable la consideración de modelos estadísticos. Además, la disposición de paquetes computacionales que nos permiten realizar casi cualquier análisis estadístico, hace que se piense seriamente en llevar el análisis de una encuesta hasta sus últimas consecuencias, lo que significa ir mucho más allá de la obtención de estadísticos descriptivos como promedios, totales, varianzas, etc.; es decir, estaríamos pensando en usar modelos de regresión múltiple, logística, modelos loglineales, o bien, técnicas multivariadas, como análisis discriminante, análisis factorial y análisis de varianzas, entre otros. La cuestión, sin embargo, es qué tan

válido es mezclar las áreas de inferencia clásica (la que supone un modelo que representa una población infinita) y la inferencia para muestreo probabilístico en poblaciones finitas. Algunas preguntas conexas son:

- (1) ¿Qué papel juega el diseño de la muestra en el análisis estadístico?
- (2) ¿Cómo considerar conjuntamente el diseño y el modelo de análisis? Estos temas constituyen una preocupación muy vigente (Rao and Bellhouse, 1990; Smith, 1994; Lehtonen and Pahkinen, 1995) y se abordan ya incluso a nivel de libros de consulta (Skinner *et al.*, 1989; Chaudhuri and Stenger, 1992; Thompson, 1997) y de texto (Lohr, 1999).

En este trabajo pretendemos dar una visión panorámica y sintética del problema del análisis inferencial de muestras de poblaciones finitas. Discutimos el problema de la dualidad en la inferencia en poblaciones finitas e infinitas, presentando una revisión del desarrollo histórico del muestreo en poblaciones finitas y de los modelos de inferencia estadística en este contexto. La revisión considera los trabajos más importantes en el desarrollo de una discusión sobre la validez del uso del paradigma de la población finita fija, acotando con cierto énfasis los trabajos de Neyman (1934, 1938) y Godambe (1955), aunque se refiere asimismo a los principales investigadores que han contribuido al desarrollo del muestreo. Finalmente consideramos el análisis de datos de encuestas y presentamos una revisión de algunas aportaciones recientes.

## 2. INFERENCIA ESTADÍSTICA EN GENERAL

La inferencia estadística forma parte del esquema general de inducción científica. A saber, queremos inferir sobre hechos (facts) o acontecimientos que no observamos (que ya pasaron o vendrán) con la base de hechos que registramos. Usamos para inferir el aspecto común de la ocurrencia de los hechos (de alguna manera que suponemos homogénea respecto a un número de factores) y referimos una característica que le da validez a esta inferencia: **la regularidad estadística**. Tal regularidad es postulada a través de un modelo estocástico  $\xi$ , que parametrizamos,  $\xi(\theta)$ , con  $\theta$  en un espacio  $\Theta$ , llamado el espacio paramétrico. Este es un conjunto que contiene los valores que determinan el modelo estocástico específico. En general  $\theta$  es desconocido, y lo que hacemos es estimarlo a partir de los datos que obtenemos de registrar los hechos a los que tenemos acceso. Si el modelo es no parametrizado entonces tenemos mayor libertad pero la precisión de las inferencias es menor. Después, el modelo específico (el estimado) es usado para conducir la inferencia; es decir, para hacer inducciones, para predecir o para probar hipótesis (Zacks, 1972; Mukhopadhyay, 2000).

La teoría de la inferencia estadística se encarga de formalizar las diferentes situaciones de la problemática de la inducción a partir de datos limitados, que se basa en la existencia de la regularidad estadística en un marco de incertidumbre modelada probabilísticamente. Se particulariza a diversos casos comunes en la vida real, y a través de los resultados generales se diseñan técnicas y procedimientos que se denominan métodos estadísticos inferenciales (Gutiérrez-Cabría, 1994). Dentro de estos métodos podemos encontrar la prueba *t* de student, el análisis de varianza, la regresión, los procedimientos para construir intervalos de confianza, etc. Los procedimientos de la inferencia estadística son ampliamente conocidos, ya que son incluidos en el plan de estudios de la mayoría de las carreras universitarias, aunque hay una generalizada falta de comprensión sobre sus fundamentos, por lo que con frecuencia se reportan malos usos y abusos de esta metodología científica (Wang, 1993).

## 3. INFERENCIA EN MUESTREO

Neyman (1934, 1938) planteó las bases del método de inferencia en muestreo de poblaciones finitas. Su método es libre de distribución; es decir, no se restringe a cierto tipo de poblaciones. El introduce como instrumento fundamental para la inferencia la selección aleatorizada. Esta idea se basa en la suposición de que la población finita  $U = \{u_1, \dots, u_N\}$  es un conjunto de  $N$  individuos u objetos identificados, cuyo valor para una variable de interés  $Y$  es fijo. De tal manera que a la población finita están asociados un vector de valores  $Y^i = (y_1, y_2, \dots, y_N)$  fijos, y entonces bajo la consideración de un censo no existirían problemas estadísticos. Neyman plantea la elección aleatoria de una muestra  $s$  de tamaño  $n$  (fijo) de  $U$ . De esta forma se tendría un diseño probabilístico en base al duplete  $((A, p(s)))$ , donde  $p(s)$  es la probabilidad de seleccionar  $s$  y  $A$  es el conjunto de todas las muestras posibles de tamaño  $n$ . A través de la información del diseño, que esencialmente es una distribución generada por la aleatorización, es posible evaluar los procedimientos de inferencia como estimación puntual y por intervalo. En el fondo del método de inferencia, bautizado por Neyman como el "método representativo" (representative method), está la idea del muestreo repetido. Esto quiere decir que para evaluar un procedimiento de estimación, el estimador se promedia sobre todas las muestras que se pudieron haber tomado, ponderándolas por su respectiva probabilidad asociada. Por

ejemplo para verificar que  $\bar{y}$ , la media muestral es un estimador insesgado de la media poblacional  $\bar{Y}$  se toma el siguiente promedio:

$$\sum_A \bar{y}_s p(s).$$

En su artículo de 1934 Neyman compara su método de inferencia con el método basado en la elección de propósito (no probabilística), introduce la estratificación y la afijación óptima y realiza estudios con datos de poblaciones particulares. El impacto del artículo de Neyman, aunado a la promoción que el mismo realizó en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, hizo que pronto se multiplicara una clase de practicantes del "método representativo", llamados muestristas. Pronto surgieron múltiples aplicaciones del método en áreas como la agricultura, ciencias forestales, estudios sociales y demográficos, etc.

Las necesidades de información de los gobiernos y las empresas incrementaron vertiginosamente las aplicaciones y pronto se adoptó el método de muestreo probabilístico como el "método científico" por excelencia para la obtención de muestras y conducción de inferencias válidas.

En el área teórica del muestreo, en las décadas de los años treinta y cuarenta, las contribuciones siguieron la línea trazada por Neyman. Se fundamentó el muestreo con probabilidades desiguales o variables y apareció la idea de la estimación ponderada con las probabilidades de selección. Nos referimos a la famosa contribución de Horvitz y Thompson (1952), que dio a su vez origen a toda una línea de desarrollos fundamentalmente teóricos pero que tuvieron paulatinamente impacto en las aplicaciones.

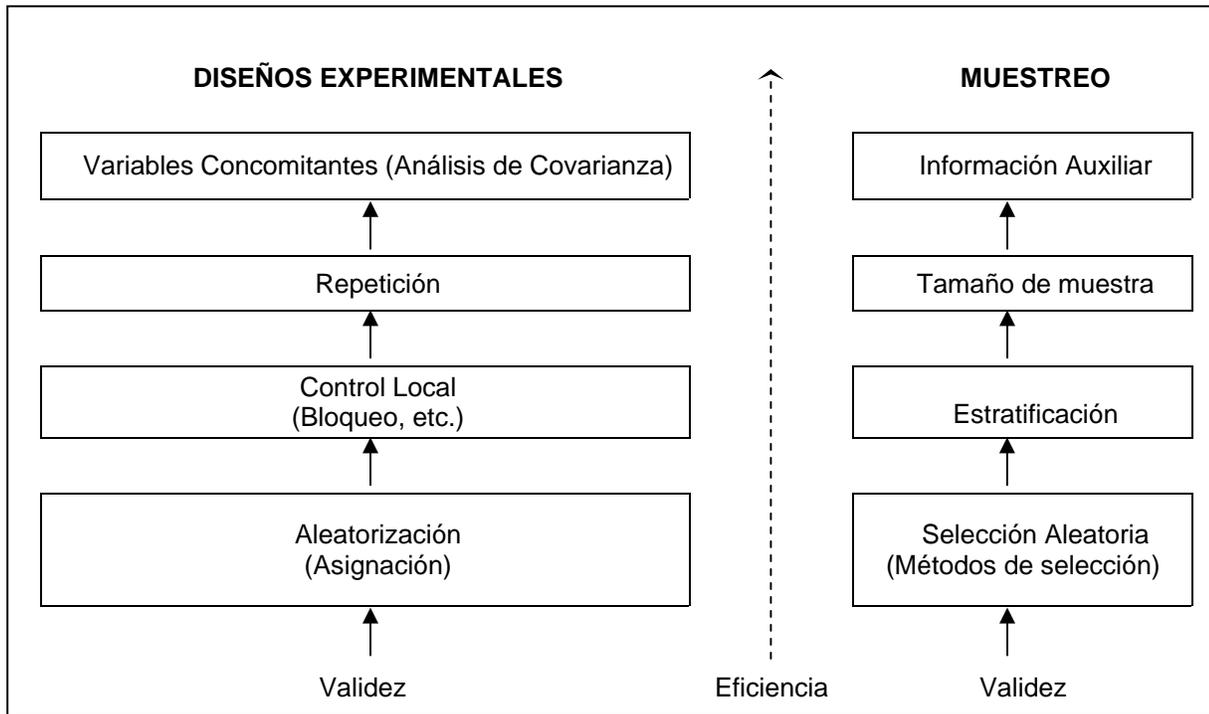
Los libros más famosos de muestreo como Cochran (1977), Hansen, Hurwitz y Madow (1953), Kish (1965), entre otros, hacen un recuento de lo que se conoce como teoría clásica del muestreo, la cual se encuentra bastante difundida a través de cursos de pregrado y postgrado, y tiene un reconocimiento considerable dentro de la comunidad estadística. Aun en la actualidad esta es la línea dominante de los textos de muestreo (Som, 1996; Thompson, 1997; Lohr, 1999).

La inferencia estadística para poblaciones finitas tiene una línea de corte con el artículo de Godambe (1955). En este trabajo, donde se formula la teoría de inferencia para poblaciones finitas, se establece un resultado central: el de que no existe un estimador lineal insesgado y de varianza mínima uniformemente sobre  $Y$ , el espacio de todos los valores posibles de las poblaciones finitas. Esto cimbró los cimientos del "método representativo", además de que puso en tela de duda a todos los resultados de eficiencia basados en muestreos repetidos sobre poblaciones finitas específicas. Este resultado logró interesar a los estadísticos matemáticos en el problema de inferencia en poblaciones finitas, que hasta ese entonces había sido menospreciado. Se evaluaron a partir de aquí, la viabilidad de uso de conceptos como suficiencia y verosimilitud, e incluso se adoptaron paradigmas diversos, como el Bayesiano, el de inferencia fiducial, entre otros, para tratar el problema de la inferencia en muestreo. Se encontraron múltiples limitaciones en la formulación de Neyman, lo que era de esperarse ya que su método es "completamente libre de supuestos" en el sentido de la inferencia estadística clásica. Para una visión de estos enfoques alternativos se puede consultar Malec y Sedransk (1985); Bellhouse (1987); Bolfarine y Zacks (1992); Brewer (1995); Ghoshy y Meeden (1997), entre otros.

La problemática fue enfocada sobre la dificultad que representa el que  $Y$  sea el parámetro, ya que tiene dimensión  $N$ . La pregunta natural ante esta situación es: ¿Cómo podemos estimar  $Y$  con la información de  $s$ , siendo  $s$  de tamaño  $n$ , mucho menor que  $N$ ? ¿Cómo y sin modelos? Es decir la pregunta sería de forma más contundente, ¿Cómo se plantea este reto sin recurrir a la **regularidad estadística**?

#### 4. MODELOS EN DISEÑOS EXPERIMENTALES

En el caso del área de los diseños experimentales, Fisher sentó claramente las bases de la aleatorización y el papel que juegan los modelos estadísticos en el proceso de inferencia (Fisher 1971, Capítulo II). La estimación y la prueba de hipótesis, como teorías dentro del área de diseños experimentales, se siguen como casos particulares del estudio teórico del modelo lineal general. Queda claro que el experimentador usa el modelo como un instrumento teórico que le permite generalizar los resultados experimentales, y la aleatorización para evitar sesgos y garantizar la razonabilidad de supuestos de trabajo con los modelos, como el de independencia.



**Figura 1.** Conceptos semejantes en Diseños Experimentales y Muestreo considerando el incremento de la eficiencia del estudio (Adaptada de Rao, 1985).

Por mucho tiempo los diseños experimentales se desarrollaron de manera separada del muestreo, a pesar de que, como señala Rao (1985), hay una serie de objetivos que son comunes (ver Figura 1). El problema central fue que durante el desarrollo del muestreo este se pensó como un problema diferente al problema general de inferencia. Sin embargo, ya en la década de los años sesenta empezaron a presentarse necesidades de trabajar conjuntamente con diseños experimentales y métodos de muestreo (ver Figura 2). Esto y el avance teórico en el área de inferencia en poblaciones finitas bajo la consideración de modelos propició que cada vez se dieran más acercamientos y colaboraciones fructíferas.

Una revisión de esta reciente tradición se puede encontrar en los artículos de Fienberg y Tanur (1985, 1987, 1988). Anotaciones a una bibliografía relacionada con este tema se pueden ver en el trabajo de Ojeda y Cortina-Carmona (1991), y una revisión más general y documentada se puede encontrar en la monografía de Cortina-Carmona (1992).

		ASIGNACION DE TRATAMIENTOS	
		Controlada	No controlada
SELECCION DE LA MUESTRA	CON CONTROL	Experimentos dentro de Muestreo o Muestreo dentro de Experimentos	Muestreo Analítico
	SIN CONTROL	Experimento	Estudio observacional no controlado

**Figura 2.** Clasificación de estudios con tratamientos y selección de muestras sobre la base del control que se ejerce sobre la selección de unidades y sobre la asignación de tratamientos. (Adapta de Smith y Sugden, 1988).

## 5. EL USO DE MODELOS EN MUESTREO

El uso explícito de modelos en el área de muestreo no es reciente; ya Cochran (1939) los usó explícitamente para evaluar estimadores, según lo reporta Smith (1976). De hecho todos los estimadores que usan información auxiliar (los de razón y de regresión) refieren modelos, aunque no explícitamente. El advenimiento de los modelos superpoblaionales se da a raíz de su postulación formal como parte de los procesos de inferencia para poblaciones finitas. Smith (1976, 1984) y Hartley Silken (1975) citan con precisión los principios y acotan las líneas de desarrollo de la teoría del muestreo bajo modelos superpoblaionales.

El planteamiento del problema de inferencia considerando los modelos superpoblaionales en poblaciones finitas es más claro, en el sentido del proceso de inferencia estadística. Si  $U$  es la población de objetos o individuos de interés y  $Y$  es un conjunto de valores desconocidos, podemos asumir que  $Y$  tiene una distribución conjunta  $\xi$ ; en otras palabras, suponemos que  $Y$  es una muestra aleatoria de tamaño  $N$  a la que el investigador no tiene acceso por razones de tiempo, economía, etc. A lo que sí tiene acceso es a una muestra (una submuestra) de tamaño  $n$ , mucho menor que  $N$ . En este sentido la población finita es considerada una realización del modelo, llamado "superpoblación".

Generalmente el investigador está interesado en una función de  $Y$ , digamos  $f(Y)$ . Ejemplos de clases de funciones son:

1.  $f_1(Y) = \alpha_n^t Y$ , y
2.  $f_2(Y) = Y^t A Y$ .

En el primer grupo están la media y el total, haciendo  $\alpha_i = (1/N)$ , y  $\alpha_i = 1$  para  $i = 1, 2, \dots, N$ , respectivamente. En el segundo caso tenemos funciones cuadráticas, como por ejemplo la varianza.

Para estimar  $f(Y)$  contamos con la información en  $y_s$ , donde  $s \subseteq U$ , es una muestra aleatoria de tamaño fijo  $n$ ; es decir, realmente tenemos el siguiente problema: deseamos estimar  $f(Y_{\bar{s}})$ , el valor de la función asociado a las unidades  $\bar{s}$  que no fueron muestreadas, ya que

$$f(Y) = f(y_s) + f(Y_{\bar{s}})$$

Si suponemos un modelo parametrizado para  $Y$ , digamos  $\xi(\theta)$ , entonces el procedimiento de estimación de  $f(Y)$  seguiría los siguientes pasos:

1. Estime  $\theta$  con base en  $y_s$ .
2. Haga la predicción de  $Y_{\bar{s}}$  con base en  $\xi(\hat{\theta})$ , el modelo estimado.

Por tal motivo, a este enfoque para resolver el problema de inferencia de funciones de  $Y$  se le llama enfoque predictivo (Royall, 1976). A través de él es posible evaluar las bondades de los procedimientos usando los conceptos tradicionales de inferencia estadística: insesgamiento con base en el modelo, mínima varianza, etc.

Algunas controversias se acentuaron con la introducción de los modelos superpoblaionales en la inferencia para poblaciones finitas. La primera es respecto al papel de la aleatorización. Esta cuestión fue analizada desde diversas ópticas, llegándose recientemente a la conclusión de que es necesaria para evitar sesgos y para poder ignorar la distribución probabilística que genera la selección aleatoria, o sea el diseño muestral. La ignorabilidad del diseño es una cuestión que aún no ha trascendido las discusiones académicas, aunque en la práctica se está usando de manera poco responsable, como señala Rubin (1976, 1978). La ignorabilidad del diseño se refiere fundamentalmente al establecimiento de las condiciones bajo las cuales es posible ignorar la distribución probabilística que genera la selección de la muestra. Se puede demostrar que bajo muestreo aleatorio simple, el diseño puede ser ignorable para inferencia basada en la función de verosimilitud. Por tal motivo al muestreo aleatorio simple se le llama uniformemente ignorable. Recientemente Sugden y Smith (1984) y Smith y Sugden (1988) han enfocado el problema de una manera integral y han logrado plantear recomendaciones metodológicas interesantes para el caso de muestreo y estudios observacionales. Otros enfoques de ignorabilidad consideran la selección "no aleatorizada" de las muestras; por ejemplo las muestras balanceadas (Royall, 1970).

## 6. INFERENCIA ANALITICA EN MUESTREO

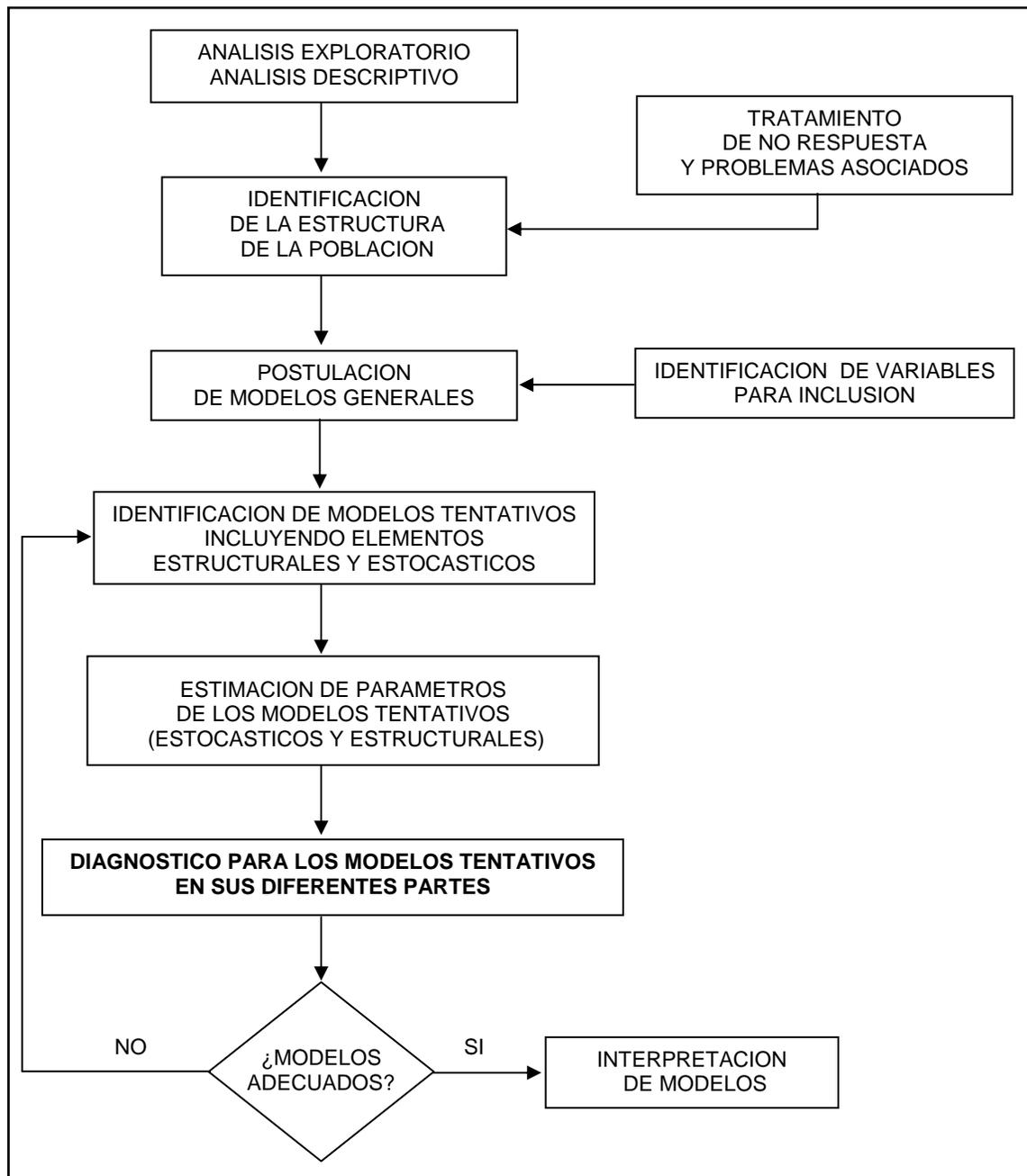
Debemos distinguir dos propósitos al realizar inferencia para poblaciones finitas: el de la inferencia descriptiva y el de la inferencia analítica. En el primer caso nos enfocamos sobre cantidades asociadas a los individuos de la población finita, como totales, medias y razones; mientras que en el segundo caso estamos interesados en relaciones causales, es decir en parámetros del modelo superpoblacional. Por ejemplo, si estamos realizando una encuesta sobre rendimientos escolares, nos interesaría saber cuáles son los factores principales y de qué forma están influyendo en los rendimientos. Podríamos postular un modelo de regresión que como variable dependiente tenga el rendimiento en el último periodo de estudio, y como variables independientes considere puntajes como los obtenidos en una prueba de hábitos de estudio, en una prueba para evaluar conocimientos extracurriculares, así como el rendimiento en un periodo pasado, el nivel educativo de los padres, el nivel socioeconómico, etc. En la inferencia analítica interesa la inferencia sobre el modelo mismo, es así que en este caso la encuesta es sólo un instrumento para obtener la información, pero la población de referencia para las inferencias sería una más general que la población de estudiantes muestreada; es decir, aquella población infinita (la superpoblación) descrita por el modelo de regresión.

Cabe destacar que la inferencia analítica para muestras de poblaciones finitas ha logrado desarrollarse sólo recientemente, a partir de la década de los ochenta. Los aspectos que han contribuido a este desarrollo son, por un lado los avances en la investigación teórica, postulando modelos generales apropiados y métodos de estimación que consideran la estructura compleja de la muestra considerando el efecto de diseño (Kish y Frankel, 1974); porque hay que señalar que rara vez se trabaja con una muestra aleatoria simple.

Por otro lado la popularización de los paquetes computacionales ha hecho factible la explotación máxima de la información obtenida por muestreo. Para una visión del software disponible se recomienda ver Hidiroglou **et al.** (1985), Lehtonen y Pahkinen (1995) y Goldstein (1995), entre otros.

Para realizar inferencia analítica en muestras complejas es necesario hacer varias consideraciones. La primera es respecto a la estructura de la muestra, que en alguna medida refleja el diseño usado para obtener los datos; la segunda sobre la ignorabilidad del diseño en sí, lo que se refiere a si considerar la distribución probabilística que se genera por la aleatorización; y la tercera es respecto a la estructura de la población, que fundamentalmente se deberá expresar a través del modelo (Clark **et al.**, 1999). Actualmente no existe un acuerdo respecto a estas cuestiones, sin embargo la inferencia basada en verosimilitud está tomando una ventaja interesante, ya que bajo este paradigma es posible formalizar la ignorabilidad del diseño, y además se han desarrollado modelos lineales generalizados y modelos en varios niveles (generalizaciones de los modelos de componentes de varianza y covarianza). También han logrado avances interesantes los paradigmas Bayesiano y Bayesiano empírico, fundamentalmente con las aportaciones de Dempster **et al.** (1977), Rubin (1978) y colaboradores. Las contribuciones recientes al área de análisis de muestras complejas, bajo el principio de la inferencia analítica, fueron editadas por Skinner, Holt y Smith (1989), y en este libro se encuentran citadas las referencias más importantes en esta línea de desarrollos. Lohr (1999), Chaudhuri y Stenger (1992) y Ghosh y Meeden (1997) incluyen referencias abundantes clasificadas por temática para profundizar en su estudio.

La necesidad de diseñar una estrategia para analizar datos considerando objetivos de inferencia descriptiva y analítica en una muestra compleja ha sido tratada sólo recientemente. Pffeferman y Smith (1985) hacen una serie de acotaciones considerando la aplicación de modelos de regresión lineal múltiple. Ojeda (1990, 1992, 1998) señala la necesidad de tratar este problema como un caso general del análisis de datos, en el que se debe instrumentar una secuencia de pasos, que van desde los análisis exploratorios, hasta la inferencia asociada a los modelos, pasando por la verificación de supuestos y el diagnóstico. El diagrama que aparece en la Figura 3 presenta una visión actualizada de los pasos generales que debe considerar el diseño de una estrategia para el análisis de datos de encuestas considerando modelos de regresión lineal para muestras complejas. Un análisis detallado de los elementos de la estrategia aparecen en Ojeda (1995) y de manera actualizada en Ojeda **et al.** (1999).



**Figura 3.** Fases del procedimiento interactivo de ajuste de modelos a datos en muestras complejas. (Adaptado de Skinner, Holt y Smith, 1989, pág. 7).

## 7. EL FUTURO DEL ANÁLISIS DE DATOS DE ENCUESTAS

La investigación teórica reciente se orienta a desarrollar modelos más generales que permitan considerar la estructura de la población y de la muestra, a proponer métodos de estimación con buenas propiedades y a desarrollar algoritmos computacionales eficientes. Los modelos lineales y no lineales para datos en varios niveles (multilevel models) constituyen un marco teórico fundamental (Goldstein, 1987, 1991a, 1991b, 1995), y las generalizaciones de los modelos logísticos y loglineales para datos en estructuras complejas son desarrollos que se pueden adaptar para el análisis de datos de encuestas.

En esta fase metodológica hay trabajos que se orientan a proponer estrategias y mostrar aplicaciones, lo que está apoyando la popularización de técnicas y procedimientos adecuados para analizar datos de encuestas; por ejemplo ver Aitkin y Longford (1986), Arminger *et al.* (1995) y Wiggins *et al.* (1991). En áreas como la investigación educativa se está generando una interesante tradición en este sentido (Bryk y Raudenbush, 1992).

Se espera que cada vez más trabajos escritos comuniquen resultados de investigación basados en encuestas analizadas adecuadamente, usando las fases de inferencia descriptiva y analítica. De hecho todos los elementos teóricos, metodológicos y computacionales se encuentran disponibles.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Alberto Castillo sus observaciones y sugerencias sobre una versión preliminar de este escrito, y los árbitros por sus críticas constructivas que obligaron a reescribir algunas partes de este artículo y a corregir errores que de otra forma no hubiese identificado. Asimismo estoy en deuda con Lorena López quien me apoyó en la preparación de la versión final.

## REFERENCIAS

- AITKIN, M and N. LONGFORD (1985): "Statistical modeling issues in school effectiveness studies", **Journal of The Royal Statistical Society**, Series A, 149, 1-43.
- ARMINGER, G.; C.C. CLOGG and M.E. Sobel (Eds.) (1995): **Handbook of Statistical Modeling for the Social and Behavioral Sciences**, Plenum Press, New York.
- BELLHOUSE, D.R. (1987): "Model-based estimation in finite population sampling", **The American Statistician**, 41, 260-262.
- BOLFARINE, H. and S. ZACKS (1992): **Prediction Theory for Finite Populations**, Springer Verlag, New York.
- BREWER, K.R.W. (1995): "Combining design-based and model-based inference", In: **Business Survey Methods**. Cox, B. G. Binder, D. A., Chinnappa, B. N., Christianson, A., Colledge, M. J. and Kott, P. S. (Eds.) Wiley, New York, pp. 589-606.
- BURSTEIN, L. (1989): **Regression Based Analysis of Multilevel Educational Data**, CSE Report No. 175, Graduate School of Education, University of California, Los Angeles, USA.
- BRYK, A. S. and S.W. RAUDENBUSH (1992): **Hierarchical Linear Models: Applications and Data Analysis Methods**, Sage publications, Newbury Park, USA.
- CARMONA-CORTINA, C.H. (1992): **Teorías Unificadoras de Inferencia en Diseños Experimentales y Muestreo**. Tesis profesional, Facultad de Estadística, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México.
- CHAUDHURI, A. and H. STENGER (1992): **Survey Sampling: Theory and Methods**, Marcel Dekker, New York.
- CLARK, L.A.; W.S. CLEVELAND; L. DENBY and C. LIU (1999): **Modeling Customer Survey Data**. In Case Studies in Bayesian Statistics Volume IV, Gatsonis **et al.** (Eds.) Lecture Notes in Statistics, Springer Verlag, New York, pp. 3-57.
- COCHRAN, W. G. (1977): **Sampling Techniques**, 3<sup>rd</sup> Edn., Wiley, New York.
- DEMPSTER, A.P.; N. LAIRD and D.B. RUBIN (1977): "Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm", **Journal of The Royal Statistical Society**, Series B, 39, 1-38.
- FIENBERG, S.E. and J.M. TANUR (1985): "A long and honorable tradition: Intertwining concepts and constructs in experimental design and sample surveys", **Bulletin of International Statistical Institute**, book II, 10, 1110-1118.
- \_\_\_\_\_ (1987): "Experimental and sampling structures: parallels, diverging and meeting", **International Statistics Review**, 55, 75-96.
- \_\_\_\_\_ (1988): "From the inside out and the outside in: combining experimental and sampling structures", **The Canadian Journal of Statistics**, 16(2), 135-151.
- FISHER, R.A. (1971): **The Design of Experiments**, 9<sup>th</sup> Edition Hafner Press, New York.

- GHOSH, M. and G. MEEDEN (1997): **Bayesian Methods for Finite Population Sampling**, Chapman and Hall, London.
- GODAMBE, V.P. (1955): "A unified theory of sampling from finite populations", **Journal of The Royal Statistics Society, Series B** (17), 269-278.
- GOLDSTEIN, H. (1987): **Multilevel Models in Educational and Social Research**. Griffin, London.
- \_\_\_\_\_ (1991a): Nonlinear multilevel models, with an application to discrete response data", **Biometrika**, 78, 45-52.
- \_\_\_\_\_ (1991b): "Multilevel Modeling of survey data", **The Statistician**, 40, 235-244.
- \_\_\_\_\_ (1995): **Multilevel Statistical Models**, Second Edition, Halsted Press, New York.
- GUTIERREZ-CABRIA, S. (1994): **Filosofía de la Estadística**, Universitat de Valencia, España.
- HANSEN, M. H.; W.N. HURWITZ and W.G. MADOW (1953): **Sample Survey Methods and Theory**, (Vol. I and Vol. II), Wiley, New York.
- HARTLEY, H.O. and R.L. SIELKEN (1975): "A superpopulation viewpoint for finite population sampling", **Biometrics**, 31, 411-422.
- HIDIROGLOU, M.A.; W.A. FULLER and R.D. HICKMAN (1985): **PCCARP**, Statistics Laboratory, Iowa State University, Ames Iowa, USA.
- HIDIROGLOU, M.A.; C.E. SÄRNDAL and D.A. BINDER (1995): **Weighting and Estimation in Business Surveys**, Wiley, New York.
- HORVITZ, D. G. and D.J. THOMPSON (1952): "A generalization of sampling without replacement from a finite universe", **Journal of The American Statistical Association**, 47, 663-685.
- KISH, L. (1965): **Survey Sampling**, Wiley, New York.
- KISH, L. and M.R. FRANKEL (1974): "Inference from complex samples", **Journal of The Royal Statistical Society, Series B**, 36, 1-37.
- LEHTONEN, R. and E.J. PAHKINEN (1995): **Practical Methods for Design and Analysis of Complex Surveys**, Wiley, New York.
- LOHR, S.L. (1999): **Sampling: Design and Analysis**, Duxbury Press, New York.
- MALEC, D. and J. SEDRANSK (1985): "Bayesian methodology for predictive inference for finite population parameters in multistage cluster sampling", **Journal of The American Statistical Association**, 80, 897-902.
- MUKHOPADHYAY, N. (2000): **Probability and Statistical Inference**, Marcel Dekker, New York.
- NEYMAN, J. (1934): "On the two different aspects of the representative method: the method of stratified sampling and the method of purposive selection", **Journal of The Royal Statistical Society, Series A**, (109), 558-606.
- \_\_\_\_\_ (1938): "Contribution to the theory of sampling human populations", **Journal of The American Associations**, 33, 101-116.
- OJEDA, M.M. (1990): "Sobre la problemática del análisis de datos de encuestas", **Memorias del IV Foro de Estadística**, UNAM, México.
- OJEDA, M.M. y C.I. CARMONA-CORTINA (1991): "Conceptos paralelos en las áreas de diseños experimentales y muestreo", **Memorias del V Foro Nacional de Estadística**, Facultad de Estadística e Informática, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, pp. 55-67.

- OJEDA, M.M. (1992): **Aspectos Teóricos, Metodológicos y Computacionales en el Análisis de Datos de Encuestas Complejas**, Tesis de Doctorado, Universidad de La Habana, Cuba.
- \_\_\_\_\_ (1995): "Tendencias recientes en el análisis de encuestas", **La Ciencia y el Hombre**, 20, 29-46.
- \_\_\_\_\_ (1998): "Multilevel modeling strategies for complex samples", **Revista Investigación Operacional**, 19 (1), 39-44.
- OJEDA, M.M.; H. SAHAI and S.F. JUAREZ-CERRILLO (1999): "Multilevel data analysis with hierarchical linear models", **Statistica Applicata**, 11(4), 577-590.
- PFEFFERMAN, D. and T.M.F. SMITH (1985): "Regression models for grouped population in cross-section surveys", **International Statistical Review**, 53, 37-59.
- PROSER, B.; J. RASBASH and H. GOLDSTEIN (1990): **ML3: Software for Three-level Analysis**, User's guide, Institute of Education University of London, UK.
- RAO, C.R. (1985): "Evolution of data collection censuses, sample surveys and design of experiments", **Proceedings of the ISI Congress**.
- RAO, J.N.K. and D.R. BELLHOUSE (1990): "History and development of the theoretical foundations of survey based estimation and analysis", **Survey Methodology**, 16, 3-29.
- ROYALL, R.M. (1976): "The least squares prediction approach to two-stage sampling", **Journal of The American Statistical Association**, 71, 657-664.
- \_\_\_\_\_ (1970): "On finite population sampling theory under certain linear regression models", **Biometrika**, 57, 377-387.
- SACKS, S. (1972): **The Theory of Statistical Inference**, Wiley, New York.
- SKINNER, C.J.; D. HOLT and T.M.F. SMITH (Eds.) (1989): **Analysis of Complex Surveys**, Wiley, New York.
- SMITH, T.M.F. (1976): "The foundations of survey sampling: a review", **Journal of The Royal Statistics Society**, Series A (139), 183-204.
- \_\_\_\_\_ (1984): "Present position and potential developments: Some personal views about sample surveys", **Journal of The Royal Statistics Society**, Series A (147), 208-221.
- \_\_\_\_\_ (1994): "Sample surveys 1975-1990: An age reconciliation? (with discussion)", **International Statistical Review**, 62, 5-34.
- SMITH, T.M.F. and R.A. SUGDEN (1988): Sampling and assignment: Mechanisms in experiments, survey and observational studies, **International Statistics Review**, 56 (2), 165-180.
- SUGDEN, R.A. and T.M.F. SMITH (1984): "Ignorable and informative designs in survey sampling inference", **Biometrika**, 71, 495-506.
- THOMPSON, M. E. (1997): **Theory of Sample Surveys**, Chapman & Hall, London.
- WANG, C. (1993): **Sense and Nonsense of Statistical Inference**, Marcel Dekker, New York.
- WIGGINS, R.D.; K. ASHWORTH; C.A. O'MUIRCHEARTAIGH and I.J. GALBRAITH (1990): "Multilevel analysis of attitudes to abortion", **The Statistician**, 225-234.