

LA ESTADÍSTICA MATEMÁTICA

Enrique J. Blaksley Bazterrica

El método científico tradicional permitió en los cuatro últimos siglos el desarrollo voluminoso de las ciencias exactas, particularmente el de la física-matemática. Ampliado y complementado en el siglo XX con el método estadístico moderno, pudo extenderse a todos los campos de la actividad técnica y científica aportando la perfección lógica, que es propia de la matemática, a todas las ramas del saber y del trabajo humano. No es una exageración decir que la estadística es el capítulo de la matemática que tiene mayor grado de aplicación práctica.

El método científico tradicional investiga los fenómenos de la naturaleza mediante cuidadosos experimentos realizados en condiciones ideales; bajo estas condiciones especiales se observa y estudia la naturaleza de un modo particularmente simple, con medidas precisas, siendo así factible determinar relaciones de exactitud matemática entre las variables que caracterizan al fenómeno; procedimiento que ayuda a descubrir y determinar las leyes matemáticas que rigen al fenómeno natural bajo condiciones ideales y dentro de un esquema determinístico, que supone la existencia de relaciones de causa y efecto fijas e inmutables.

Por lo dicho, se comprenderá que el método científico tradicional es utilizable sin dificultad en el estudio de aquellos fenómenos simples que pueden ser llevados a condiciones ideales de laboratorio, como son los físicos y químicos relativos a los cuerpos materiales, es decir, a la materia inerte, inanimada; su aplicación al estudio de los fenómenos biológicos de la materia viva en general, y en particular los humanos propios de la medicina, la psicología, más los económicos y sociales, etc., no es adecuada. Este gran campo de la realidad no era abarcado por el método científico tradicional al carecer del cálculo y la lógica matemática apta para su investigación. El método estadístico moderno es concretamente un análisis matemático de variables aleatorias, que son variables en las que intervienen un alto número de causas incidentes de compleja y desconocida interrelación y pequeña influencia proporcional en el conjunto total de efectos, por lo cual no pueden medirse con la exactitud absoluta del cálculo matemático tradicional y deben estimarse probabilísticamente; el cálculo de probabilidades suministró la lógica matemática apropiada para el estudio de las variables aleatorias.

La estadística es, además, la ciencia que da los métodos de investigación de colectivos o poblaciones numerosas, universos, mediante muestras representativas de dichas poblaciones, forma obligada de estudio en todos los campos de la actividad técnica y científica; el investigador observa y analiza un número reducido y limitado de casos, que es la muestra de datos, extrae sus conclusiones y las generaliza proyectándose al universo; así actúa el médico y el psicólogo en la investigación de

las patologías a través de muestras de pacientes, el ingeniero al controlar la producción y calidad en la industria, el economista en el estudio de mercado o en la evaluación de los procesos económicos, el biólogo midiendo los fenómenos de la materia viva, etc.

El método estadístico permite abordar el estudio de la naturaleza en las condiciones reales en que se producen los hechos sin necesidad de llevar el fenómeno a condiciones ideales de laboratorio; esto es posible gracias a la lógica del cálculo de probabilidades que, al permitir analizar matemáticamente las variables aleatorias, logra introducir el cálculo en el estudio del fenómeno natural, identificando las variables aleatorias características del mismo con las variables aleatorias de la estadística; de ahí viene la posibilidad de acoplamiento del cálculo estadístico a la investigación de la realidad sin simplificarla a condiciones ideales extremadamente simples.

De lo dicho se comprende que los diversos métodos de la estadística aplicada son de uso práctico en casi todos los campos de la actividad técnica y científica, siendo una utilísima herramienta de análisis, descripción e inferencia, muchas veces imprescindible.

No resulta fácil la actualización científica sin nociones de estadística, dado que la mayoría de los trabajos que se publican incluyen el análisis estadístico de los resultados con sus conclusiones pertinentes, más el diseño experimental de las investigaciones con criterios que son propios de esta ciencia.

Sobre el cálculo de probabilidades

La teoría de la probabilidad surgió en el siglo XVII como un capítulo matemático independiente de la estadística; su finalidad, en aquella época fue encontrar las leyes que rigen los juegos de azar, Es teoría matemática pura, cuyos principales autores fueron Pascal, Fermat, Huygens y Bernoulli, entre otros.

Una frase de la obra de Huygens, *El cálculo en el juego de azar*, nos aclara el carácter científico y matemático de esta teoría; el sabio se expresaba así: "El lector se dará cuenta de que este cálculo no se relaciona solamente con los juegos de azar, sino con los fundamentos de una teoría interesante y profunda".

Entre los grandes matemáticos que posteriormente contribuyeron al avance y desarrollo del cálculo de probabilidades encontramos a Moivre, Bayes, Laplace, Gauss, Poisson, etc., abarcando un período que se extiende hasta mediados del siglo pasado, período en el cual los fundamentos del cálculo de probabilidades quedan establecidos firmemente con precisas y rigurosas definiciones de la noción de probabilidad, con la determinación de la ley de los grandes números, la ley de las distribuciones normales y el teorema central límite.

La escuela rusa, entre cuyos miembros podemos mencionar especialmente a Chebishev, Markov y Liapunov, continúa y profundiza el desarrollo de la teoría de

la probabilidad, aportando un modelo matemático cuyo valor es presentar los rasgos esenciales de un gran número de fenómenos cuyos resultados dependen del azar, contribuyendo así al perfeccionamiento de la ley de los grandes números y del teorema central límite. Podemos mencionar el teorema de Liapunov, que demostró que toda variable que depende de la suma de un gran número de causas de pequeña incidencia y distribución desconocida converge hacia una distribución normal para un número grande de casos, suponiendo que las causas son dos a dos independientes entre sí, de varianza infinita y de escaso efecto respecto de la suma de efectos de todas las causas.

En la época contemporánea, hasta mediados del siglo presente, la teoría del cálculo de probabilidades avanza y se profundiza con el aporte de numerosos matemáticos entre los que mencionaremos a Kolmogorov y Von Mises, quienes establecieron las bases del cálculo de probabilidades moderno permitiendo que esta disciplina se extendiera a otras ramas de la ciencia y de la técnica.

La estadística propiamente dicha

La teoría del cálculo de probabilidades avanzó independientemente de la estadística hasta fines del siglo pasado; su principal aporte en las ciencias aplicadas fue la teoría de los errores experimentales.

En el año 1901, con la aparición de la bio-metría, obra de Galton (biólogo) y K. Pearson (físico-matemático), podemos centrar el comienzo de un intenso desarrollo de la estadística, entendida como análisis matemático de variables aleatorias y estudio de poblaciones numerosas mediante muestras.

La teoría y práctica del muestreo estadístico es la que ha tenido un extraordinario valor útil para la evaluación y control de todo tipo de fenómenos, habiéndose extendido su uso práctico a casi todas las ramas del quehacer científico y técnico. Entre los autores de este nuevo y fértil capítulo matemático es justo mencionar a R. Fisher, continuador de la obra de Galton y Pearson, quien con su aporte a la teoría de la estimación estadística y de las muestras pequeñas ha contribuido eficazmente a mejorar los estimadores estadísticos, habiendo introducido para ello el principio de máxima verosimilitud.

Aunque la ciencia estadística se ha desarrollado en forma extensa en el presente siglo y ha fundamentado sus métodos en el cálculo de probabilidades, tiene algún antecedente remoto en los trabajos de J. Graunt (1620-1674), vendedor de paños de Londres, hombre de escasa preparación que, utilizando datos demográficos reunidos en parroquias, consiguió descubrir, por inferencia estadística, leyes demográficas de validez permanente y estimar mediante muestras la población de Londres con buena aproximación; su gran inteligencia y la calidad de sus trabajos le mereció el honor de ser incorporado como miembro de la sociedad real, siendo el verdadero precursor de la estadística.

Quetelet, astrónomo belga del siglo pasado, realizó notables aplicaciones de la estadística basadas en la curva normal de Gauss y abrió un campo muy vasto, lleno de posibilidades para esta nueva ciencia, convirtiéndola en un método de investigación de los fenómenos colectivos y en un auxiliar valioso de los problemas de gobierno.

El nombre de *Estadística* o *Ciencia de las cosas que pertenecen al Estado* se atribuye a Achenwall (1719-1772), profesor de la Universidad de Goetingen; no es una denominación del todo apropiada en esta época pues la estadística abarca todos los campos de la actividad técnica y científica y se ha salido del ámbito de la economía, entendiéndose hoy en día que la estadística es más bien una rama de la matemática pura y aplicada que analiza el comportamiento de las variables aleatorias y estudia poblaciones numerosas mediante muestras.

No podemos dejar de traer a colación un antecedente histórico singular: "el descubrimiento de las leyes de la herencia", en 1860, por G. Mendel, sacerdote católico, cuyos trabajos cayeron pronto en el olvido y fueron redescubiertos a principios del siglo veinte; estas leyes que se prueban estadísticamente recibieron el nombre de leyes de Mendel en homenaje al sabio cuyo valiosísimo aporte no le fue reconocido en vida.

Finalmente, podemos decir que los más antiguos antecedentes de la estadística, en el sentido estricto de esta palabra según la definición de Achenwall, se remontan a más de 4.000 años atrás con la confección de tablas estadísticas agrícolas en China y los relevamientos censales y estudios catastrales en el Egipto antiguo.

Estadística e investigación científica

La estadística se ha convertido en una herramienta de uso constante en la investigación científica, en todos sus niveles, en el planeamiento previo, en el desarrollo y ejecución del protocolo de investigación y en el análisis de los resultados más las conclusiones finales pertinentes.

El papel que juega la estadística en el plan de una investigación científica comienza con el dimensionamiento del diseño experimental, cálculo que tiene por objeto determinar el tamaño de las muestras sobre las que se realizará la investigación; por ejemplo, en medicina dará el número de pacientes a incluir en el estudio; en el trabajo fabril, el número de piezas necesario para controlar la producción y calidad (estudios técnicos), los criterios de aceptación y rechazo; en la investigación de mercado, el volumen de personas o negocios a encuestar, etc.

La determinación de estos números se realiza teniendo en cuenta las hipótesis centrales que quieren ser aprobadas en la investigación -concordantes con los objetivos de la misma- más los riesgos o errores que lleva implícitos toda hipótesis estadística sobre poblaciones numerosas (colectivos o universos) estudiadas mediante muestras representativas, errores denominados de tipo 1 y 2 o del consumidor y del

productor, relacionados con la potencia y confianza estadística adoptadas para probar las hipótesis científicas bajo un margen de seguridad.

Proseguirá la estadística suministrando técnicas de selección al azar que garanticen la obtención de muestras representativas del universo, con el fin de lograr muestras homogéneas de las poblaciones a comparar.

La representatividad y homogeneidad de las muestras son dos nociones estadísticas fundamentales que, de no preverse, pueden arrastrar al investigador a extraer falsas conclusiones disfrazadas con un ropaje científico elegante y convincente bajo el cual se oculta el error, falsedad que comúnmente conocemos como falacia.

Otro aspecto a tener en cuenta es la construcción de un modelo matemático teórico que deberá ser realizado de acuerdo con los resultados del experimento, mediante el cual se describirá y mostrará el comportamiento de las variables aleatorias características del fenómeno estudiado, seleccionadas en el plan de la investigación para probar las hipótesis.

Durante el período de ejecución de los planes de investigación la estadística suministrará ayuda valiosa analizando resultados parciales que pueden sugerir cambios en dichos planes iniciales, ya sea redimensionando el tamaño de las muestras, o variando los períodos de tiempo. La estadística será de particular valor en la cuestión ética, cuando la investigación sea como en el caso de la medicina, realizada en seres humanos, ya que ayuda a realizar planes que incluyan un mínimo número de pacientes a ser arriesgados, o a decidir el momento en que puede y debe suspenderse una investigación al haberse alcanzado los objetivos de la misma, no justificándose su continuación en el tiempo para no perjudicar al paciente.

Los métodos estadísticos secuenciales son de gran utilidad en este sentido, así como los métodos estadísticos para muestras pequeñas con múltiples factores (diseños factoriales).

La cuestión de la objetividad en las mediciones, que puede influenciar la fidelidad de los datos, requiere métodos de acción que garanticen la imparcialidad del investigador y de las demás personas que intervengan en el experimento; un ejemplo muy conocido sobre esta cuestión es el método doble ciego, utilizado en investigaciones clínicas, donde el médico y el paciente desconocen el tratamiento aplicado con el fin de eliminar todo tipo de subjetividades que puedan afectar las mediciones, perjudicando la fidelidad del dato.

La aplicación más conocida de los métodos estadísticos, particularmente en las investigaciones médicas y biológicas en general, es el análisis estadístico de los resultados y sus conclusiones pertinentes; lamentablemente, en nuestro medio se observa que muchos investigadores recurren a la estadística recién en esta etapa final de las investigaciones, habiéndose arriesgado a incurrir en errores de planificación, diseño y ejecución, que pueden llegar a invalidar los resultados de la

misma, obteniéndose conclusiones falaces al no haber tomado en cuenta, como es debido, el problema de la aleatoriedad estadística.

El análisis matemático de los resultados requiere una atención especial, pues de él se extraen las conclusiones finales, punto ese de máximo interés para el investigador. Todo lo anterior apunta justamente a que estas conclusiones finales estén debidamente fundamentadas y probadas científicamente, sin sesgos ni falacias. El cálculo determinará los límites numéricos y probabilísticos mediante los cuales pueden evaluarse matemáticamente las hipótesis de la investigación, aceptándolas o rechazándolas, o sugiriendo la ampliación de la investigación ante la duda probable que pueda persistir sobre las hipótesis planteadas.

Dos tipos de errores incluyen las conclusiones estadísticas extraídas del análisis de los resultados, denominados de tipo 1 ó 2; el error tipo 1 consiste en la probabilidad de aceptar las hipótesis alternativas asociadas a la superación de los límites de significación estadística como verdaderas cuando ellas son falsas; por ejemplo: aceptar que un nuevo tratamiento es más eficaz que el tratamiento usual, o que un procedimiento de fabricación industrial se aparta de las normas de calidad, cuando esto no es así, error a que puede llevarnos un experimento y que debemos acotar adecuadamente. El error tipo 2, contrario al anterior, está implícito en las hipótesis de nulidad estadística, asociadas a la no superación de los límites de significación, por ejemplo: aceptar que dos tratamientos son iguales o que un procedimiento de fabricación industrial cumple con sus normas de calidad cuando esto no es cierto, error en que puede caer el experimentador y que depende sensiblemente del tamaño de la muestra, a mayor número de observaciones y mayor error tipo 1 corresponde un menor error tipo 2 y viceversa.

La lógica probabilística de estos riesgos más sus propiedades son la base de referencia utilizada para dimensionar el diseño experimental, es decir, estimar el tamaño de las muestras. Es común utilizar un error tipo 1 por debajo del 5% y tipo 2 por debajo del 10%, lo que implica una confianza y potencia del experimento del 95% y 90% respectivamente, como mínimo. Estas prevenciones estadísticas deben contemplarse en el plan del experimento, ya que tienen por objeto medir los riesgos de error del mismo.

Los resultados de un experimento científico sobre variables aleatorias están afectados por el número de observaciones, lo que aclara y explica ciertas conclusiones paradójales, a saber: una inspección de calidad realizada con veinte piezas puede hacernos extraer conclusiones contrarias a las que se obtienen utilizando muestras de 40 datos, aunque los resultados fuesen idénticos. Ejemplo: una inspección sobre 20 piezas fabricadas mostró una defectuosa (5% de defectuosas) y fue aceptada por el inspector, permitiendo que el proceso productivo continúe su marcha sin modificación alguna; otra inspección realizada sobre 40 piezas encontró dos defectuosas (5%) y, en consecuencia, el inspector la rechazó y tomó medidas para

corregir el proceso productivo. Dos resultados idénticos (5% de defectuosas) y dos decisiones opuestas; la explicación de esta aparente contradicción, que no es tal, se encuentra en las propiedades del error tipo 2, que nos dicen que la muestra de inspección de 40 unidades presenta menor error tipo 2, razón por la cual es más eficiente y tiene menor dispersión aleatoria que la muestra de 20 unidades y mayor precisión para estimar la población total.

En los ambientes científicos, donde circula gente dedicada a la investigación en áreas no pertenecientes a las ciencias exactas y carentes de formación en matemática estadística, suelen escucharse opiniones categóricas asignando causas definidas a los resultados de sus investigaciones y, lo que es peor, basándose en consideraciones estadísticas; esta forma de opinión debe ser corregida, pues, aunque el método estadístico nos ayuda a encontrar causas específicas a las que podemos atribuir determinados resultados del experimento, la asignación de la causa trasciende el método estadístico.

La teoría de la causalidad, que explica los fenómenos mediante causa (es decir: a tal causa, tal efecto), es una teoría metafísica utilizada en física y en ciencias en general, teoría que no puede probarse por ningún tipo de razonamiento práctico, como lo es el científico; es más bien un presupuesto necesario para poder entender y explicar el mundo real.

La metafísica se une a la física y, en general, a la investigación de la realidad, aportando un marco referencial dentro del cual encuadramos lo estudiado; la postura común al investigar un fenómeno del mundo real es suponer que el mismo existe independientemente de nosotros y que, además, es susceptible de conocimiento, consideraciones metafísicas y epistemológicas que darán paso a las consideraciones científicas enmarcadas dentro de aquéllas.

La estadística estudia los fenómenos aleatorios, fenómenos dependientes de múltiples y complejas causas, mostrándonos el comportamiento de las variables intervinientes, pero englobando el conjunto de causas y midiendo matemáticamente con estimaciones probabilísticas las variaciones aleatorias o estocásticas. De este modo, la estadística no determina la relación entre la causa y el efecto, pues estudia múltiples causas conjuntamente y se limita simplemente a afirmar si en el fenómeno estudiado se observaron o no diferencias significativas, es decir: "poco probable se deban a causas de azar (fortuitas)" de donde se supone o sospecha la existencia de alguna causa específica, no fortuita, que explica la diferencia significativa, pero esto no lo afirma categóricamente y debe completarse la afirmación utilizando otras argumentaciones.

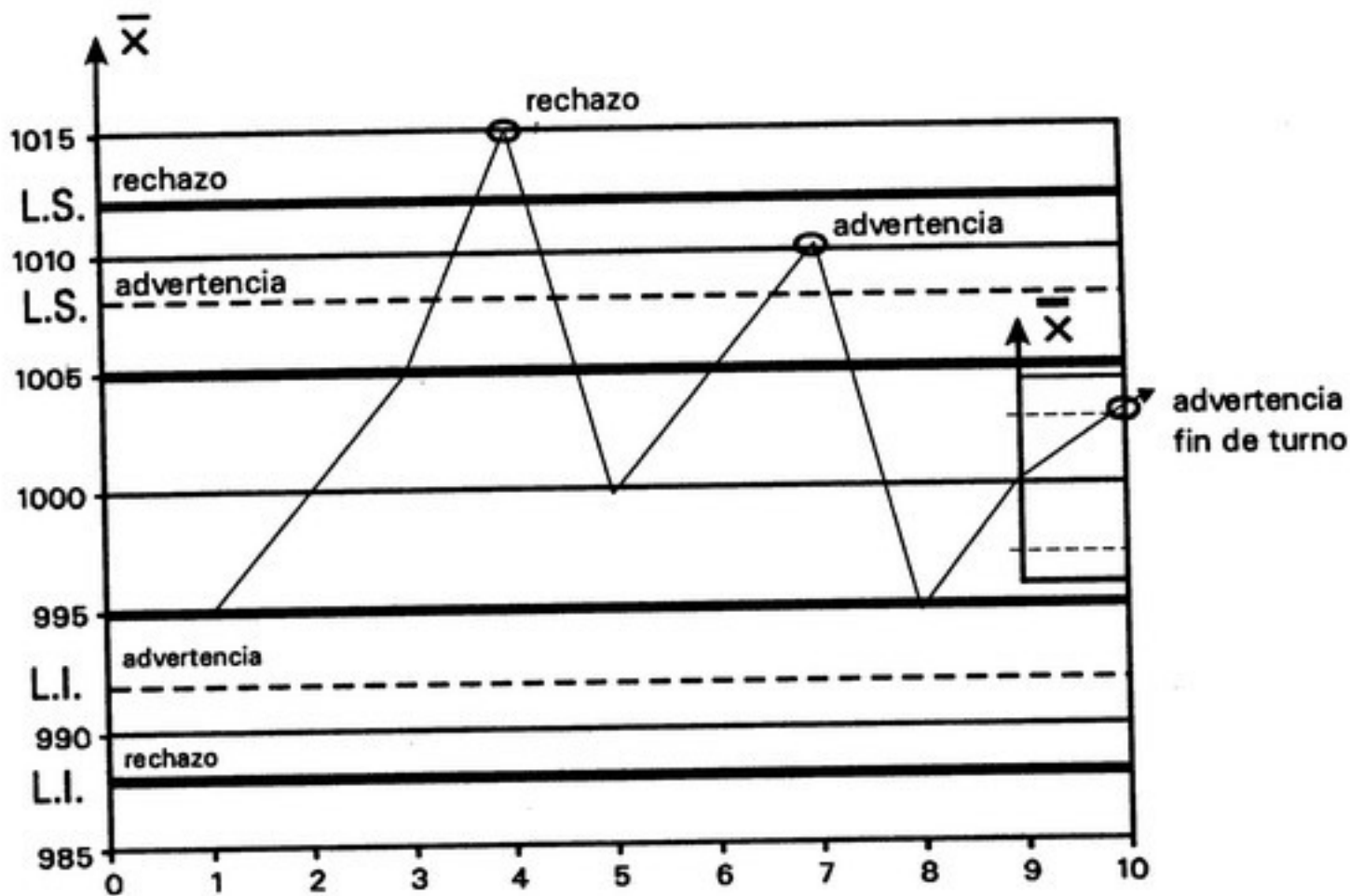
La asignación de una causa determinada depende del tipo de diseño experimental, diseño en el cual se han utilizado consideraciones estadísticas y no estadísticas, que debe estar preparado para poder asignar la causa; este tipo de diseño no siempre es posible e incluye, además, algún grado de error difícilmente anulable, situación que es propia de los fenómenos aleatorios.

Veamos algunos ejemplos de afirmaciones categóricas basadas en consideraciones estadísticas que pueden ser incorrectas: un médico compara el resultado de dos tratamientos; en uno de ellos encuentra un 10% de fracasos y en el otro un 20%, lo que afirma que el primer tratamiento es más eficaz que el segundo. Esta conclusión, sin evaluar las variaciones aleatorias y medir la significación estadística de la diferencia observada, carece de fundamento científico probatorio; tampoco es suficiente si se realiza la prueba de significación, pues para esto, los grupos de pacientes deberían ser similares (homogéneos) y representativos de la población de enfermos. Esto requiere un diseño experimental con métodos de selección randomizada.

Paradoja estadística: un médico estudia 200 pacientes cardíacos y los separa en dos grupos según hayan presentado o no determinada alteración electrocardiográfica, grupos A y B, respectivamente. En un seguimiento a un año, el grupo A sufre un 40% de mortalidad y el B, solamente un 10%; esta diferencia es estadísticamente significativa. El médico concluye que la señal electrocardiográfica es indicativa de un corazón más enfermo y que el grupo de pacientes que la presente estará en situación de mayor riesgo o gravedad con una menor esperanza de supervivencia.

Sin embargo, si reclasificamos a los pacientes según hayan presentado o no determinado cuadro clínico, grupos C y D respectivamente, podría ocurrir lo siguiente:

SEÑAL ECG	A			B		
CUADRO CLIN.	C	D	TOTAL	C	D	TOTAL
FRACASOS	24 (48%)	0 (0%)	24 (40%)	12 (60%)	2 (17%)	14 (10%)
EXITOS	26 (52%)	10 (100%)	36 (60%)	8 (40%)	118 (83%)	126 (90%)
TOTAL	50	10	60	20	120	140



Se observa ahora, comparando por cuadro clínico, que los pacientes que presentaron la señal electrocardiográfica tienen menor proporción de fracasos (mortalidad), confusión paradójica que es consecuencia de la fuerte asociación estadística evidenciada entre el cuadro clínico C y la señal electrocardiográfica A. Las múltiples causas incidentes en un fenómeno aleatorio y sus posibles asociaciones pueden inducirnos a conclusiones erróneas, lo que exige planificar cuidadosamente los experimentos científicos y utilizar diseños que tengan en cuenta la aleatoriedad, es decir, el aspecto estadístico.

Naturaleza de las leyes estadísticas. "El azar"

En los albores de la filosofía clásica, en la Grecia Antigua, las teorías filosóficas evolucionaron desde la concepción materialista del atomismo de Demócrito (siglo V A.C.) como explicación de los fenómenos naturales, hasta la teoría de las cuatro causas y la lógica de Aristóteles (siglo IV A.C.).

La teoría de las cuatro causas, a saber: la causa material, la causa formal, la causa eficiente y la causa final son una notable síntesis explicativa de la realidad que encierra dentro de ella el modo de explicación científica. En este sentido, las leyes de la física clásica, por ejemplo, son leyes matemáticas que sintetizan en sus fórmulas las relaciones entre las variables que caracterizan el fenómeno natural, variables medidas en condiciones ideales que disminuyen a la mínima expresión la aleatoriedad de las mismas; relaciones matemáticas entre variables, pero también relaciones de causa y efecto. Así, el científico explica los hechos por sus causas y la ley científica clásica mide y expresa la relación entre la causa y su efecto mediante

fórmulas, siendo éstas la expresión cuantitativa de las ideas desarrolladas para explicar la realidad, las cuales se verifican por comprobación experimental -lo que les da su validez- y fuerzan al consenso unánime de aceptación de las mismas.

En este modo de ver y explicar los hechos, el científico utiliza permanentemente la noción de causa eficiente; los científicos que no aceptan la teoría de la causalidad prefieren hablar de leyes de regularidad matemática y dejan de lado la explicación causal por considerarla una teoría no científica sino metafísica.

Las leyes estadísticas, típicas del método científico moderno, suponen la existencia de múltiples causas convergentes en un resultado final que es la suma de los efectos de todas ellas; se encuadran entonces dentro de la teoría de la causalidad pero utilizada para explicar fenómenos complejos que presentan como algo típico de ellos la aleatoriedad, noción derivada de la teoría de los juegos de azar, que dieron origen al nombre de causas de azar o fortuitas en el lenguaje común de la casualidad.

La ley estadística no expresa entonces relaciones de causa y efecto directas y simples, sino que presenta leyes matemáticas de promedios y dispersiones que miden resultados producidos por múltiples causas conjuntas, no pudiendo por eso presentar el grado de exactitud que tiene la ley científica clásica; sólo pretenden ser estimaciones probabilísticas con un riesgo o error mensurable y previsible.

Estas leyes, que indican un determinado orden en los fenómenos aleatorios, se acoplan bien en el estudio de los fenómenos muy complejos como son los biológicos, de ahí que haya sido esta ciencia natural la que dio origen a la biometría, uno de los puntos de inicio del pensamiento estadístico moderno; algunas leyes biológicas imprimieron el nombre a capítulos muy importantes de la estadística como el de la correlación y regresión. El nombre de regresión proviene de ley de regresión a la línea media que se observa, por ejemplo, en variables como la altura de los hijos en relación con los padres; así se encuentra que los hijos de padres muy altos eran más bajos que aquéllos, en promedio, y los hijos de padres muy bajos, por el contrario, eran más altos que éstos, regresando ambos a la altura media.

La noción de caos o desorden suele aparecer identificada con los fenómenos aleatorios, con el azar; sin embargo, este encuadre no parece conveniente pues dificulta la explicación y el entendimiento de lo que se estudia. La noción de complejidad proveniente de la acción mutua de múltiples causas y un determinado orden, expresado en las leyes estadísticas, parece más satisfactorio para poder entender algo que, en su naturaleza misma, supera la capacidad de comprensión de nuestra mente al no poder abarcar la acción detallada de múltiples causas y efectos intervinientes en todo fenómeno natural; nuestro conocimiento del mismo será, a lo sumo, una interpretación desde determinados puntos de vista u origen de partida para el razonamiento.

La estadística y el trabajo técnico

No puede faltar, en estas líneas, una mención sobre el papel que juegan los

métodos estadísticos en el trabajo técnico, y muy especialmente en el control de producción y calidad industrial, en la fabricación seriada, donde el gran número de unidades imposibilita la inspección del 100% de la piezas fabricadas. Imaginemos cómo podría hacerse para inspeccionar el producto de una empresa de cigarrillos que fabrica millones de unidades por día a un ritmo vertiginoso; cómo averiguar si el llenado de tabaco, las longitudes, los diámetros, el peso, la humedad, el despalillado, los defectos, etc. se encuentran dentro de las normas de calidad y producción. El método estadístico es la única solución posible al permitir investigar poblaciones muy numerosas, poblaciones teóricamente infinitas, con pequeñas muestras.

El método estadístico no sólo será imprescindible para saber cómo marcha el proceso productivo, sino que además permitirá reducir enormemente los costos de inspección; mejorará la interpretación y racionalizará el trabajo; será una herramienta de investigación muy valiosa en los laboratorios de la empresa, colaborando así de un modo mucho más amplio que el utilizado antiguamente, donde la estadística se circunscribía al sistema informativo técnico-administrativo.

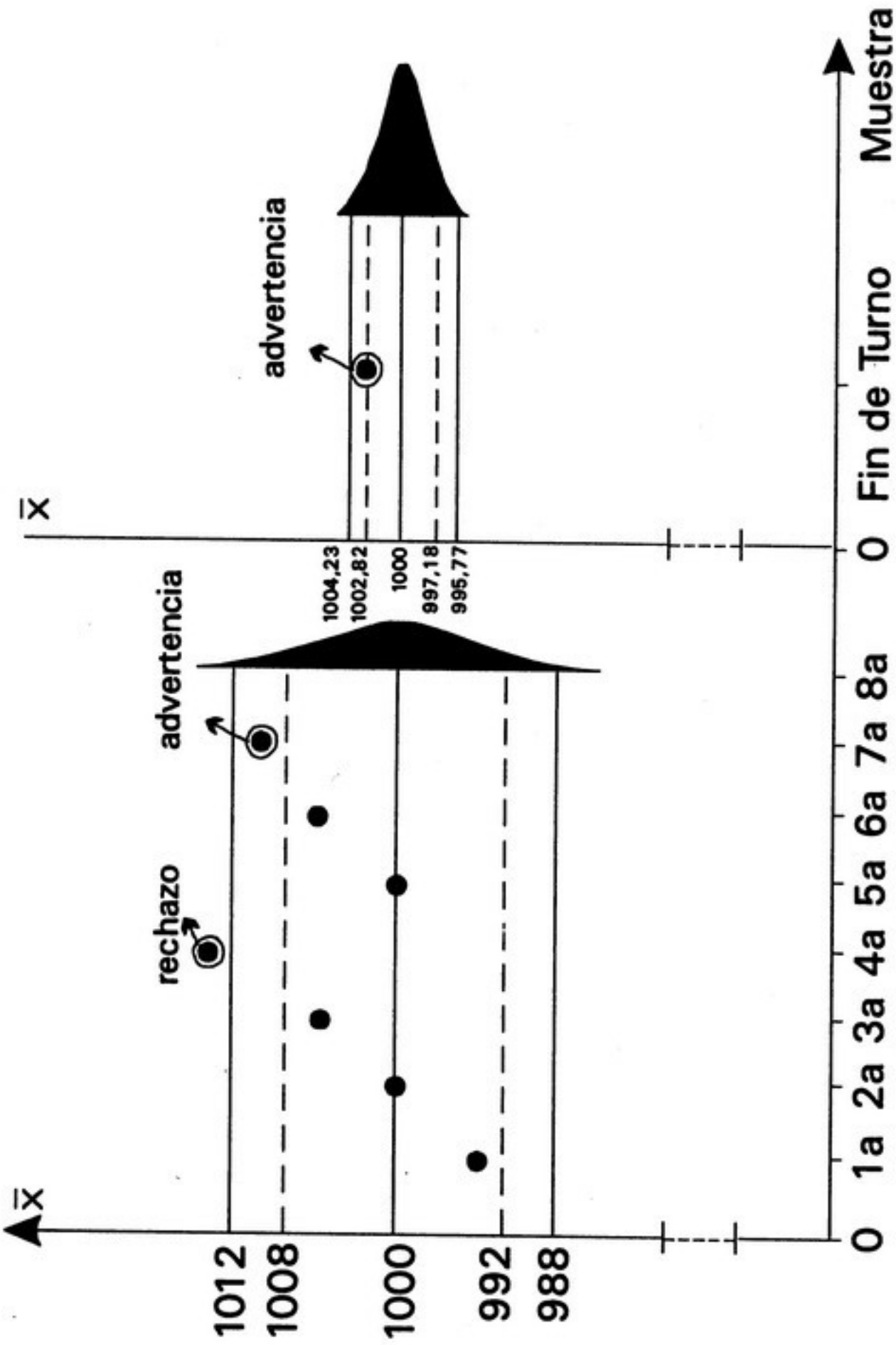
Idénticas aplicaciones tendrá el método estadístico en la economía nacional, donde podrá ser utilizado como método de control en comercio exterior, importación y exportación, y como técnica de investigación mediante muestras de toda la actividad económica en general, para extenderse al estudio de los problemas sociales.

Gráfico de control de calidad

Un instrumento característico del control estadístico en el trabajo técnico es el gráfico de control, donde se ubican los puntos resultantes de las muestras de inspección. Supongamos, por ejemplo, que se quiere controlar el peso del cigarrillo con muestras de 25 unidades, una por hora en cada máquina cigarrillera y un gráfico para cada turno y máquina, en base a una norma de calidad que especifica un peso promedio de 1000 mgr. con una desviación standard de 20 mgr.

El gráfico incluirá dos límites de control; el primero, para advertencia; el segundo, para rechazo y toma de decisiones correctivas por fuera de control.

Muestras por hora	1a.	2a.	3a.	4a.	5a.	6a	7a.	8a.	Fin de Turno
x media	995	1000	1005	1015	1000	1005	1010	995	1003,125
n unid.	25	25	25	25	25	25	25	25	200
95% Confianza	L.I.= 992 mgr.			99,7% Confianza			L.I.= 988		Advertencia
Límites de	L.S.=1008 mgr.			Límites de			L.S.=1012		L.I.= 997,18
advertencia				rechazo					L.S.=1002,82
									Rechazo
Datos Máquina N° 5									L.I.=995,77
Turno N° 1									L.S.=1004,23



La 4a. muestra fue rechazada por fuera de control; se tomaron medidas correctivas ajustando la máquina, y el proceso volvió a control estadístico; en la 7a. muestra se advirtió sobre el peso excesivo y no hubo necesidad de medias mayores pues el proceso volvió a control.

Al fin del turno se observa un peso alto en la zona de advertencia que es un aviso al próximo turno de trabajo sobre la situación límite en que se está produciendo.

La inducción estadística

La explicación racional de la realidad utiliza dos tipos de razonamientos:

- El *deductivo*, que va de lo general a lo particular, y cuyas conclusiones, no habiendo contradicción, son verdaderas forzosamente.
- El *inductivo*, que partiendo de casos particulares generaliza la propiedad observada bajo el supuesto de que la misma ha de cumplirse en todos los casos análogos, razonamiento cuyas conclusiones no son forzosamente verdaderas pues se basan en un supuesto no probado sino solamente sospechado.

El razonamiento por inducción es típico de ciencias empíricas como la física y la química, lo que explica también el cambio que se observa en las teorías de estas ciencias a medida que avanza la experimentación y se manifiestan las limitaciones de las mismas; no son verdades como las de la matemática que tienen validez permanente.

La demostración matemática es un capítulo especial de la lógica y tiene un carácter netamente deductivo; el principio de inducción completa, utilizado en algunos temas en los cuales se prueba la generalidad de determinadas proposiciones, partiendo de casos particulares y aplicando la vía inductiva, tiene también su carácter deductivo pues demuestra por ese camino la validez de una proposición A_{h+1} , en base a la proposición anterior A_h , que sumado a la validez de la primera proposición A_1 , garantiza la generalidad de la ley a los infinitos términos de una sucesión, que dependen de números naturales; la inducción matemática se aparta entonces del razonamiento inductivo de las ciencias empíricas siendo mucho más satisfactorio que éste.

El razonamiento utilizado en el muestreo estadístico es esencialmente inductivo, parte de muestras de datos que son pequeñas porciones de una población numerosa o infinitas y se proyecta a la población total, estimando los parámetros característicos de la ley de distribución de probabilidades, que es la ley estadística de la variable aleatoria en estudio. La teoría de la estimación estadística fue construida recurriendo a un razonamiento inductivo y probabilístico que amplía el tipo de razonamiento inductivo clásico y se extiende a los capítulos de la comparación estadística conocidos como test de hipótesis y a la asociación y correlación entre variables aleatorias, lo que resume, en pocas palabras, el campo de aplicación práctica en donde la estadística matemática tiene mayor utilidad.

La lógica estadística ha sido objetada desde el comienzo mismo de la definición de probabilidad, lo que ha generado varias escuelas, todas criticables desde determinados puntos de vista; esta situación, sumada a la dificultad que presenta pasar del campo matemático puro de las variables aleatorias, con sus requisitos teóricos, al estudio de las variables reales, que no cumplen perfectamente con estas condiciones exigidas, nos muestra a la teoría estadística en una situación de inferioridad respecto de la lógica rotunda de las demás ramas de la matemática. No obstante, la estadística ha inundado todos los campos de la actividad técnica y científica, siendo uno de los aportes de la matemática de mayor grado de aplicación práctica.

La utilidad de esta ciencia se explica por el valor práctico que tiene el mestreo estadístico al permitir estudiar poblaciones numerosas o infinitas, mediante muestras de muy pocos individuos, y suministrar, a la vez, una herramienta matemática de análisis, descripción e inferencia de las variables aleatorias reales, similares pero no idénticas a las variables aleatorias del cálculo de probabilidades.

Los errores, que pudiesen derivarse de las limitaciones de la teoría, no tienen mayor incidencia práctica y no son comparables a los errores que pueden derivarse de la falta de fidelidad de los datos o de representatividad y homogeneidad de las muestras.

El avance de los métodos estadísticos hacia los denominados métodos no paramétricos, que tienen muy escasas restricciones limitativas, les ha dado grandes posibilidades de aplicación práctica.