

RONALD AYLMEYER FISHER Y LA AGRONOMÍA

RONALD AYLMEYER FISHER AND AGRONOMY

Said Infante Gil

Estadística, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
 Autor para correspondencia (said@colpos.mx)

RESUMEN

La inferencia estadística, como la percibimos actualmente, es un producto del siglo XX. El uso generalizado de modelos probabilísticos en las ciencias experimentales es una consecuencia de la crisis de la Física a fines del siglo XIX y de la emergencia de paradigmas tentativos en la Biología en esos años. El papel fundamental de la Estadística en la metodología científica actual tiene su génesis tanto en la confluencia de las ideas de Mendel y Darwin en la Biología, como en el derrumbe del paradigma Newtoniano. Sin duda el énfasis, a menudo exagerado, que ahora asignamos al análisis estadístico de datos experimentales, tiene su origen en la obra de Ronald Aylmer Fisher (Londres, 1890-Adelaide, 1962), el estadístico más importante en la historia de la inferencia científica. En este ensayo se intenta ubicar el desarrollo de sus ideas en el contexto del pensamiento científico de principios del siglo XX y documentar sus contribuciones a la metodología actual, subrayando que sus inmensas aportaciones a los métodos experimentales no sólo se dieron en un ambiente agronómico, sino que fueron consecuencia de ese ambiente.

Palabras clave: Agronomía, diseño de experimentos, darwinismo, mendelismo, aleatorización.

SUMMARY

Statistical inference, as we perceive the subject nowadays, is a by-product of the 20th century. The generalized use of probabilistic models in the experimental sciences is a consequence of the crisis in Physics by the end of the 19th century and of the simultaneous appearance of tentative paradigms in Biology. The fundamental role of Statistics in current scientific methodology had its genesis in the confluence of Darwin and Mendel's works in Biology, as well as in the collapse of Newton's paradigm. Doubtless the emphasis, often exaggerated, that we now place in the statistical analysis of experimental data derives, in good measure, from the work of Ronald Aylmer Fisher (London, 1890-Adelaide, 1962), the most distinguished statistician in the history of scientific inference. In this essay it is intended to situate the development of Fisher's ideas in the context of the scientific thought at the beginning of the twentieth century, highlighting the fact that his vast contribution to the experimental methods not only was produced in an agronomical environment, but was also a consequence of such environment.

Index words: Agronomy, design of experiments, Mendelism, Darwinism, randomization.

INTRODUCCIÓN

La historia de la ciencia ofrece numerosos ejemplos que permiten argumentar que los grandes avances en un campo del conocimiento con frecuencia son producto de la conjunción de dos factores: el clima intelectual de una época y un individuo excepcional. El clima intelectual es resultado de muchos elementos, no siempre plenamente identificables pero que convergen en un punto de acumulación; el individuo excepcional que personifica el paradigma es, sin duda, un elemento esencial, pero posiblemente sustituible. Un par de casos: el primer paradigma científico moderno es la Mecánica de Newton, producto de un ambiente intelectual que se inicia en el Renacimiento - esencialmente con el descubrimiento de América - y los problemas filosóficos que inaugura, pero el individuo podría haber sido, de haber nacido unas décadas más tarde, Galileo Galilei, o algún contemporáneo entonces notable y ahora totalmente ignorado. En 1905 el ambiente intelectual en la Física estaba a punto para la Teoría Restringida de la Relatividad. El individuo fue -dice el lugar común- un, hasta entonces, oscuro empleado de la oficina de patentes en Berna, Suiza, llamado Albert Einstein. Años más o menos, no es difícil encontrar posibles sustitutos. Estas consideraciones no pretenden poner en tela de juicio la inmensa creatividad de Newton y Einstein. Se quiere subrayar solamente que ellos fueron las personas adecuadas en el momento preciso.

La Biología tuvo un desarrollo tardío en relación con la Física, pero a fines del siglo XIX enfrentaba un hiato similar al de ésta en los tiempos de Newton. Los trabajos de Charles Robert Darwin (Shrewsbury, Shropshire, 1809 - Down, 1882) y Gregor Johann Mendel (Heizendorf, Austria, 1822- Brno, 1884) se publicaron a mediados del siglo XIX, y para 1900 habían corrido destinos diametralmente opuestos. En esta encrucijada Ronald Aylmer Fisher, el individuo, tuvo un papel fundamental, propiciado por el ambiente intelectual creado por Francis Galton, Karl Pearson, George Udny Yule, Erick Tschermack, Karl Erich Correns, Hugo De Vries y William Bateson, entre otros.

El propósito de este ensayo es situar la obra de Fisher en la metodología científica contemporánea, a partir de sus orígenes en el análisis de experimentos agrícolas. Fisher nació en Londres en 1890 y murió en Adelaide, Australia, en 1962. Sus contribuciones a la estadística matemática, a la genética cuantitativa y a la filosofía de la inferencia estadística son, en gran parte, consecuencias de su relación temprana con la agronomía. A menudo ignoramos el hecho de que el análisis de varianza, la aleatorización y el diseño de experimentos se derivan del trabajo de Fisher y sus colaboradores y sucesores en la Estación Agrícola Experimental de Rothamsted. La Estadística en particular, y la metodología científica en general, deben mucho al genio de Fisher y al esfuerzo de sus seguidores, principalmente a los que fundaron escuelas en los Estados Unidos de Norteamérica (G. W. Snedecor, W. G. Cochran, G. M. Cox) y en la India (P. V. Sukhatme, P. C. Mahalanobis, C. R. Rao). En particular los investigadores agrícolas y pecuarios, usuarios cotidianos de sus contribuciones a la investigación agrícola, generalmente ignoramos nuestra inmensa deuda con R. A. Fisher, pero también nuestra participación en estos desarrollos.

LA ESTADÍSTICA Y LA GENÉTICA A FINALES DEL SIGLO XIX

Alrededor de 1880 se gestaba un cambio muy importante en el clima intelectual del siglo XIX. Estimulado por la creatividad de Francis Galton, un grupo notable de investigadores encabezado por Karl Pearson, desarrolló una metodología conceptual para las ciencias empíricas, eliminando obstáculos que habían impedido el progreso en la inferencia por casi un siglo. Algunos antecedentes: el método de mínimos cuadrados había sido publicado por Adrien-Marie Legendre (París, 1752- París, 1833) en 1805, y reclamado como propio por Johann Friedrich Carl Gauss (Brunswick, 1777- Göttingen, 1855) en 1809; la síntesis Gauss-Laplace se dio en 1810, legitimando a la Distribución Normal como “el modelo”. Sin embargo, a lo largo de todo el siglo XIX, salvo por los intentos fallidos de Adolphe Jacques Quetelet (Ghent, 1796 - Bruselas, 1874), la inferencia estadística en las ciencias (experimentales o no) es un desierto.

Dos protagonistas fundamentales de las ciencias biológicas a finales del siglo XIX fueron Francis Galton (Sparkbrook, Birmingham, 1822 - London, 1911) y Karl Pearson (London, 1857 - London, 1936). Hay muchos más, por supuesto, pero ellos son indispensables en esta exposición. Conviene también recordar que, a fines del siglo XIX, la Física empezaba a desordenarse y la Biología a ordenarse. Este desorden de la Física y principio de orden de la Biología dan el marco para el desarrollo de la actividad científica en el siglo XX.

Los problemas del modelo Newtoniano a fines del siglo XIX han sido ampliamente documentados, por lo que es innecesario abundar aquí en el tema. Por otra parte Darwin y

Mendel, cuyo trabajo fundamental se desarrolló en la primera mitad del siglo XIX, habían sembrado el germen de una revolución en las ciencias biológicas similar a la protagonizada por Newton y sus predecesores. En 1859 Charles Darwin publicó *The Origin of the Species*, donde escribió: “Las leyes que gobiernan la herencia son, en su mayor parte, desconocidas. Nadie puede decir por qué la misma peculiaridad en diferentes individuos de la misma especie, o en diferentes especies, es heredada algunas veces y otras no; por qué el niño a veces reproduce características de su abuelo o abuela o de ancestros más remotos”.

Difícilmente podía saber Darwin que un sacerdote y naturalista aficionado llamado Gregorio Mendel estaba obteniendo las respuestas. Hoy todos conocemos sus experimentos con chícharos en la Abadía de Santo Tomás en Brunn, hoy Brno, en lo que hasta antes del nuevo colapso europeo era Checoslovaquia. Pero fue hasta 1866 que Mendel publicó el primero de dos artículos con sus descubrimientos en una muy anónima revista: *Transactions of the Brunn Natural History Society*. Lo que ocurrió después lo describe muy bien Ronald W. Clark (1974): “Después, designado Abad, ocupado en responsabilidades administrativas, y demasiado obeso para ocuparse adecuadamente de su jardín, se hundió en la obscura mediocridad en la que permaneció durante tres décadas”. Un aparte: Ronald W. Clark es autor de la mejor biografía de Einstein que conozco (Clark, 1971).

Con Darwin y Mendel se relacionan principalmente los trabajos de Galton y Pearson, la revolución biométrica, y las contribuciones de Ronald Fisher a la metodología de las ciencias experimentales.

PEARSON Y GALTON

Francis Galton, ha escrito Stephen M. Stigler (1986), “es una figura romántica en la historia de la estadística, quizá el último de los caballeros científicos”. Estudió Medicina en Cambridge, y la ejerció sin distinción. Heredero de grandes recursos materiales, al tomar posesión de su herencia dedicó su energía a satisfacer su curiosidad científica. Exploró Africa, elaboró mapas. Posteriormente se interesó en Psicología, Antropología, Sociología y hasta en Criminología, pero a partir de 1865 su trabajo predominante fue en estudios de la herencia. Galton fue vástago de una familia notable, nieto de Erasmus Darwin (Elton, Nottinghamshire, 1731 - Derby, Derbyshire, 1802) quien además de abuelo de Charles, fue un renombrado médico, fisiólogo y poeta y, según algunos autores (v. gr. Bronowsky, 1978), concibió antes que su otro nieto la teoría evolucionista. Charles Darwin fue su primo carnal. Estos antecedentes familiares inciden en la génesis de su libro *Hereditary Genius: An Inquiry into its Laws and Consequences* (Galton, 1869).

Karl Pearson nació en Londres el 27 de marzo de 1857. Fue un hombre con una energía excepcional y ambicionó siempre las distinciones académicas. También acumuló una vasta cultura general, como lo prueban sus importantes ensayos sobre filosofía de la ciencia. Aunque no tenía la originalidad de Galton trabajó a su lado, con mayor arsenal matemático, muchos problemas propuestos por él. En colaboración estrecha con George Udny Yule, generó el primer conjunto unificado de métodos estadísticos y los volvió de uso común. Galton y Pearson, alumno y discípulo, crearon la escuela biométrica, firmemente establecida alrededor de 1900.

EL AMBIENTE INTELECTUAL DEL JOVEN FISHER

Ronald Aylmer Fisher nació en Londres en 1890. Cuando ingresó a Cambridge, en 1909, la controversia entre Biométricos y Mendelianos dominaba el escenario de las ciencias biológicas en Europa. El trabajo de Gregor Mendel había sido redescubierto simultáneamente en 1900 por tres científicos europeos: Erick Tschermack von Seysenegg (Viena, 1871-Viena, 1962), Karl Erich Correns (Munich, 1864 - Berlin, 1933) y Hugo Marie de Vries (Haarlem, Neth, 1848 - Amsterdam, 1935). Sin duda el ambiente era propicio para el desarrollo de las habilidades y las inclinaciones de un talento como el de Fisher. Las investigaciones más recientes sobre la división de las células y su estructura habían generado información inédita sobre la herencia. Se había descubierto un mecanismo físico, tanto en plantas como en animales, que mimetizaba los patrones de herencia que Mendel había descubierto en sus experimentos gracias, principalmente, a Walter S. Sutton (Utica, 1877 - Kansas, 1916) que en 1902 había sugerido la conexión entre los hechos citológicos y la hipótesis Mendeliana. Los factores heredables de Mendel podrían ser las partículas físicas presentes en los cuerpos de “teñido oscuro” llamados cromosomas, visibles en la división celular. Éstos fueron llamados genes por vez primera por Wilhelm Ludvig Johannsen (Copenhagen, 1857- Copenhagen, 1927) en 1909.

El conflicto entre Darwinianos y Mendelianos fue central en la polémica científica biológica de principios del siglo XX. Aunque William Bateson (Whitby, Yorkshire, 1861 - London, 1926) no fue el redescubridor de las ideas de Mendel, fue sin duda su principal propagandista. Bateson adoptó las ideas de Mendel porque explicaban las discontinuidades de la herencia que había observado. Escéptico de la teoría de Darwin, aceptó el Mendelismo como un apoyo a su teoría de la evolución discontinua. En Cambridge, catedral del Mendelismo a principios del siglo XX, Bateson fue su principal exponente. En los años en que Fisher fue estudiante (1909 - 1913), la materia adquirió reconocimiento académico. En 1908 se creó un profesorado en Biología para Bateson, posteriormente denominado (en 1912) la silla Arthur Balfour en Genética. Por razones diversas Bateson

nunca ocupó esta posición, aunque Fisher sí, en 1943. La polémica se centraba en que la Genética no necesariamente implicaba la evolución, ni el Darwinismo necesitaba de la Genética.

Sobre el ambiente prevaleciente en esos años Fisher (1947) escribiría mucho después: “Yo llegué por primera vez a Cambridge en 1909, el año en que se celebraba el centenario del nacimiento de Darwin y el jubileo de la publicación de *El Origen de las Especies*. La nueva escuela genética basada en las leyes Mendelianas de la herencia estaba plena de actividad y confianza, y las librerías repletas de libros, buenos y malos (sobre el tema) ...” En otro recuento de esos días Joan F. Box (1978) ha escrito: “Fisher enfrentó las nuevas ideas previamente convencido de que la teoría de la evolución por selección natural era incontrovertible. Percibió que los hechos aportados por la Genética eran elementos complementarios a la teoría de Darwin y no encontró dificultad en aceptar que la herencia discontinua no era inconsistente con la variación o la evolución continua, sino que implicaría necesariamente a éstas”.

Aunque éstas son elaboraciones *a posteriori*, lo cierto es que en 1911, como estudiante en Cambridge, Ronald Aylmer Fisher dictó una conferencia genial para un joven de 21 años. En ella prefiguró una síntesis de las tesis de Darwin y Mendel, mediante el simple argumento de que si una característica, digamos la inteligencia de un individuo, estuviera determinada por 20 pares de alelos, la escala de inteligencia tendría 2^{20} (1 048 576) valores posibles. Es obvio que este argumento elimina la supuesta incompatibilidad entre Mendelismo y evolución continua.

Desde que se graduó en Cambridge, en 1913, habrían de pasar seis años para que encontrara un empleo acorde a sus habilidades. Durante esos años trabajó en compañías de seguros y enseñó matemáticas en escuelas preparatorias. Su primer artículo formal se tituló: “On an absolute criterion for fitting frequency curves” (Fisher, 1912). En 1915 publicó su único artículo en *Biometrika*, la revista fundada por Pearson (con financiamiento de Galton) en 1902. El artículo, que tendría una influencia fundamental durante muchos años, tenía el título: *Frequency distribution of the values of the correlation coefficient in samples from an indefinitely large population*. (Fisher 1915). Que Fisher no volviera a publicar en *Biometrika* y que no ocupara jamás una cátedra en Estadística en Inglaterra, dice mucho sobre el conflicto entre dos egos monumentales, aunque no es éste el espacio para examinar el conflicto.

LOS INICIOS DE FISHER EN ROTHAMSTED

A pesar de los disensos con Pearson, en 1919 recibió una oferta para trabajar en el Galton Laboratory, y casi simultáneamente una de Sir John Russell para ocupar un

puesto en la Estación Experimental de Rothamsted. Eligió Rothamsted suponiendo que allí tendría mayor libertad para emprender investigación original, en lo que sin duda tuvo razón. Seguramente influyeron también sus controversias con Karl Pearson.

La Estación Experimental de Rothamsted se estableció en la tercera década del siglo XIX, como consecuencia del impacto que las investigaciones de Justus Von Liebig y otros científicos europeos (J. B. Boussingault, C. G. Daubney y John Bennet Lawes, entre otros) en química orgánica tuvieron sobre la ciencia de la fisiología, y en especial en la nutrición vegetal y animal. Lawes, quien se retiró de Oxford en 1834 a su granja de Rothamsted, 25 millas al norte de Londres, fue un empresario próspero que patentó el superfosfato como abono agrícola y en 1837 convirtió un granero en un laboratorio. En 1843 el laboratorio contaba con las habilidades del químico J. A. Gilbert y con un campo experimental dedicado a probar la eficacia de diferentes fertilizantes, con trigo en Broadbalk, y nabos en Barnfield. Lawes murió en 1900 y Gilbert en 1901. Para entonces, Rothamsted era “la” estación experimental.

En la primera década del siglo XX la investigación agrícola obtuvo reconocimiento académico, y se crearon instituciones muy importantes de enseñanza e investigación tanto en Inglaterra como en los Estados Unidos de Norteamérica.

En 1919 E. J. Russell (después Sir John Russell) era director de la Estación Experimental de Rothamsted. De él ha escrito Joan F. Box (1978): “A juzgar por los estándares de la época, Russell tenía credenciales más que suficientes para opinar sobre el tema (Diseño de Experimentos)”. Químico agrícola de vasta experiencia, había encabezado su departamento en Wye College antes de mudarse a Rothamsted en 1907. Allí continuó su investigación y en 1912 fue seleccionado para substituir a A. D. Hall como director. Russell mantuvo un estrecho contacto con el trabajo experimental en los laboratorios y en la granja en Rothamsted.

De acuerdo con otra fuente (Thornton, 1966) Russell planeaba “... reunir un equipo de trabajadores científicos en un campo experimental, donde pudieran aplicar sus respectivas disciplinas científicas”. Esto pudo hacerlo sólo al término de la primera guerra mundial.

Según Fienberg y Tanur (1996) “Sir John Russell requería alguien con la capacidad para examinar los datos acumulados de los campos de trigo de Broadbalk, con el objetivo de extraer información que pudiera haber sido ignorada. De inmediato Russell reconoció el genio de Fisher y buscó convertir su posición temporal en una permanente”.

Relatando el mismo episodio más de 60 años después, Joan F. Box (1980) ha escrito: “Fisher había sido nombrado Estadístico en la Estación Experimental de Rothamsted en

1919. Fue el primer Estadístico en la estación, y Russell sólo contaba con recursos para pagar su salario durante seis meses, por lo que su nombramiento inicial fue temporal. Russell tenía la esperanza de que ese lapso bastaría para mostrar que una persona con conocimientos matemáticos podría ser suficientemente útil en el análisis de los datos de Rothamsted para justificar la creación de un puesto permanente para un estadístico”.

Sobre el nombramiento de Fisher como el primer estadístico en un campo experimental, tenemos también el testimonio del mismo John Russell (1966): “Al hacerme cargo de Rothamsted encontré una gran cantidad de datos que sabía que no podía analizar adecuadamente.... También tenía conocimiento que las autoridades censales disponían de métodos para extraer información de grandes masas de datos. Por tanto, en 1919, terminada la guerra, solicité tanto a Oxford como a Cambridge, candidaturas de matemáticos jóvenes familiarizados con métodos adecuados para examinar nuestros datos a fin de extraer información extra que pudiéramos haber ignorado”.

El propósito de describir con tanto (quizá excesivo) detalle el arribo de R. A. Fisher al campo experimental de Rothamsted, es situar las circunstancias tan rudimentarias en las que se dio el sorprendente desarrollo de los métodos estadísticos en la experimentación agrícola de 1920 a 1935, antes de su expansión a todas las ciencias experimentales. La primera tarea de Fisher fue analizar los registros históricos de la estación experimental. Las 13 parcelas con trigo en Broadbalk habían recibido un tratamiento uniforme desde 1852, y los registros de cada una por 67 años consecutivos estaban disponibles para el análisis que Fisher emprendió a partir de su nombramiento. Con esos datos inició, en 1921, la publicación de una serie de artículos denominados *Studies in Crop Variation*. El más importante es el segundo, escrito en colaboración con W. A. Mackenzie, porque presenta sus ideas más innovadoras sobre experimentación agrícola.

En sus análisis Fisher usó polinomios ortogonales e introdujo, aunque de una manera más bien obscura al principio, el Análisis de Varianza. En Fisher y McKenzie (1923) se incluyen dos contribuciones fundamentales en el análisis de datos experimentales y el diseño de experimentos: el Análisis de Varianza, adaptado de un artículo anterior sobre la herencia Mendeliana (Fisher, 1918) y el concepto de aleatorización. De hecho, al justificar el Análisis de Varianza, los autores argumentan que su validez depende de la aleatorización. El experimento analizado tenía tres repeticiones. Después de dividir la suma de cuadrados de todas las desviaciones de la media general en dos partes; las que hoy llamamos entre y dentro de tratamientos, escribieron: “Si todas las parcelas fueran indiferenciadas, como si los números hubiesen sido mezclados y escritos aleatoriamente, entonces el valor promedio de cada una de las dos sumas de

cuadrados sería proporcional al número de sus respectivos grados de libertad”. Aunque aun para un lector contemporáneo el párrafo transcrito resulte obscuro, es típico del estilo Fisheriano. Como muchos grandes creadores, Fisher era un pésimo expositor, incluso de sus propias ideas. El concepto de aleatorización lo expuso con claridad y amplitud hasta 1935 (*The Design of Experiments*, 1935).

FISHER Y EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

De 1920 a 1940 Fisher tuvo una productividad extraordinaria. En ese lapso publicó 120 artículos, además de dos libros imprescindibles y un conjunto de tablas estadísticas. De 1925 data su libro *Statistical Methods for Research Workers* (Fisher, 1925), piedra fundadora de la literatura estadística en el siglo XX. Es, sin duda, un libro difícil de leer. De él se ha dicho “Ningún estudiante debería intentar leerlo a menos que lo haya leído antes” (Kendall, 1962). Lo incontestable es que, para 1925, Fisher ya había bosquejado sus ideas esenciales sobre inferencia estadística y estaba madurando las del diseño de experimentos.

Entretanto sus relaciones con Karl Pearson y su grupo se habían deteriorado severamente. Es difícil precisar cuando empezaron los problemas entre ellos, pero fue más bien pronto. Los dos estaban distanciados desde 1920. Fisher no volvió a publicar en *Biometrika*, la revista estadística más importante de la época, y un referente obligado hasta el día de hoy, desde su artículo sobre el coeficiente de correlación en 1915. Para su libro de 1925 Pearson le negó el permiso para reproducir sus tablas. Una consecuencia de esta negativa es que Fisher decidió calcular las probabilidades acumuladas sólo para algunos percentiles. En este punto es necesario recordar las limitantes en el cálculo de probabilidades a principios del siglo XX, limitantes que hoy, para cualquier estudiante con un moderado talento matemático y con acceso a una computadora personal, son de resolución inmediata. De esta necesidad operativa de 1930 se derivan dogmas absurdamente vigentes, como establecer significancias a 5 y 1 %. Actualmente deberían reportarse los niveles observados de significancia.

Desde 1923 Fisher había percibido la importancia de los componentes ortogonales en la teoría de variables explicatorias. La simplicidad de la idea fundamental y lo que Fisher construyó a partir de ella, son dos maravillosos ejemplos del trabajo de una mente excepcionalmente creativa. Usando las ideas de Lexis, Yule y Gossett, creó el Análisis de Varianza y, con base en él, el diseño de experimentos. Ya se ha dicho que la primera edición de *The Design of Experiments* se publicó en 1935. Es otro hito en el desarrollo de la estadística, pero no sólo eso. “Pocos libros, si es que existe otro, han contribuido tanto a elevar los estándares en la tecnología científica” (Kendall, 1962).

Las contribuciones de Fisher al diseño de experimentos se inician con su análisis de los datos agronómicos de Rothamsted. A continuación se presenta una reseña cronológica de la evolución de sus ideas sobre este tema.

La aleatorización

La idea de aleatorizar una muestra o de asignar aleatoriamente tratamientos a unidades experimentales, casi seguramente la concibieron de manera independiente Ronald Fisher y Jerzy Neyman, aunque sin duda Fisher la volvió un dogma en el diseño de experimentos y Neyman en el diseño de encuestas. La polémica sobre los créditos intelectuales todavía está vigente, como lo atestigua un artículo de Fienberg y Tanur (1996).

Diversos autores, entre los que destaca Joan F. Box (1980), sostienen que Fisher podría haber justificado el Análisis de Varianza suponiendo observaciones independientes de una población con Distribución Normal. “Pero la suposición de independencia obviamente no era sostenible en ningún experimento ordinario en el campo; se sabía que las mediciones de fertilidad en parcelas adyacentes no eran independientes. Al contrario, tenían una alta correlación.” Sin embargo, Fisher percibió que la asignación aleatoria de los tratamientos simularía el efecto de independencia en la distribución de la razón de varianzas, y en consecuencia el análisis de varianza y las pruebas de significancia usuales en la teoría normal serían aproximadamente válidas, siempre que la asignación de los tratamientos a las parcelas hubiese sido deliberadamente aleatoria” (Box, 1980).

La aleatorización no tuvo aceptación inmediata, ni por los matemáticos ni por los experimentadores. E. J. Russell (citado por Box, 1980) se refirió a esta técnica como “... un refinamiento que está siendo introducido en Rothamsted”. Escribió después “En la práctica esta [aleatorización] es imposible; tiene que establecerse un compromiso entre lo deseable y lo practicable. El mejor arreglo práctico es tener tantas repeticiones como tratamientos y distribuir las parcelas como en un tablero de ajedrez ... [en] un cuadrado latino”.

De los argumentos de Russell se infiere que el Cuadro Latino era aceptable para él porque, con aleatorización o sin ella, preservaba el balance en el diseño. Su propósito era establecer experimentos tan precisos como fuera posible, mientras que para Fisher esto era irrelevante si el análisis carecía de validez. En consecuencia, Russell prefería diseños balanceados que eliminaran los gradientes de fertilidad en el terreno. En 1926 Fisher arguyó que si los arreglos sistemáticos producían menores errores reales, forzosamente tendrían que incrementar la estimación del error; o si producían mayores errores reales, la estimación del error se disminuiría consecuentemente. En cualquier caso la falsa

estimación del error "... sería responsable de distorsionar las conclusiones extraídas del experimento" (Fisher, 1926).

Hasta 1923, ni Fisher ni Neyman escribieron sobre la aleatorización de los datos que analizaron. Cochran (1980) ha escrito en relación con el experimento de Fisher y Mackenzie (1923): "Este diseño no fue aleatorizado... Siguiendo los procedimientos recomendados en ese tiempo, el diseño aparentemente intenta minimizar los errores de las diferencias entre medias de tratamientos usando un arreglo de ajedrez Este arreglo usa el descubrimiento de los ensayos de uniformidad consistente en que parcelas contiguas en el campo tienden a dar resultados similares. La consecuencia es, por supuesto, que el estimador de la varianza del error por parcela, derivado de los rendimientos de parcelas con el mismo tratamiento, será sobrestimado". Fisher no comenta sobre la ausencia de la aleatorización. Aparentemente, en 1923, Fisher no había pensado en las condiciones necesarias para que un experimento proveyera una estimación insesgada del error.

Como casi todos (¿o todos?) los argumentos a favor y en contra de la inducción, los de Fisher tienen tintes metafísicos. Joan F. Box los expone en un párrafo muy ilustrativo: "Como Fisher escribió en su correspondencia, el experimentador juega con el demonio; debe estar preparado en su diseño para enfrentar cualquier patrón de fertilidad que el demonio pudiera haber escogido. Un arreglo sistemático puede enfrentar solamente un plan demoníaco. Pero el demonio puede haber escogido cualquier plan, aun aquel para el cual el diseño sistemático es el menos apropiado. Para jugar este juego con la máxima posibilidad de éxito, el experimentador no puede excluir la posibilidad de cualquier arreglo posible de fertilidades de suelo, y su mejor estrategia es igualar la probabilidad de que cualquier tratamiento sea asignado a cualquier parcela mediante un mecanismo aleatorio. Entonces, si todas las parcelas con un tratamiento tuvieran mayores rendimientos, podría todavía ser a causa del diseño del diablo, pero sólo entonces el experimentador sabría cuán a menudo su arreglo aleatorio coincide con el del maligno" (Box, 1978).

The Design of Experiments (Fisher, 1935) se inicia con la descripción del famoso experimento psicofísico de la dama y la preparación del té con leche. La dama era Miss B. Muriel Bristol y el experimento lo preparó William Roach según algunos autores, aunque otros, como M. G. Kendall (1962), sostienen que el experimento nunca se realizó. En cualquier caso la reseña del experimento - real o imaginado - tiene el propósito de destacar el papel de la aleatorización. El proceso físico de asignación de los tratamientos era esencial en la obtención de un estimador del error y, en consecuencia, en la validez de la prueba de significancia mediante la cual se evaluaría el resultado del experimento. En el libro se incluyen también discusiones similares sobre aleatorización para los diseños presentados posteriormente.

Pero, ¿cómo se habían generado estos diseños?. En 1926 no era obvio que un diseño aleatorizado fuera tan preciso como uno sistemático. En ese año Thomas Eden estaba llevando a cabo el primer diseño en bloques. En el análisis de ese experimento Fisher y Eden (1927) mostraron que era "admirablemente" preciso. Sin embargo, todavía en 1936 W. S. Gossett (Student), uno de los pocos protagonistas de esta historia con quien Fisher mantuvo una polémica amable, escribió: "Puesto que la tendencia de la aleatorización deliberada es incrementar el error, un arreglo balanceado es mejor."

Repeticiones y bloques

Las repeticiones eran usadas rutinariamente antes de Fisher, como lo prueban los registros de Rothamsted, y lo usual era establecer 3 ó 4. En este aspecto su aportación esencial fue esclarecer que "... el principal propósito (de las repeticiones), para el cual no existe un método alternativo, es proveer una estimación del error" (Fisher, 1925). Pero no era posible apreciar las ventajas de los diseños en bloques antes de que el Análisis de Varianza proporcionara un método para aislar la variación de bloques y sustraerla del error. Naturalmente, con los Cuadros Latinos la variabilidad podía eliminarse en dos direcciones, con la obvia limitación de que el número de repeticiones tenía que ser igual al de tratamientos.

Cuadros Latinos

Los cuadros latinos que Fisher usó como diseños experimentales habían sido estudiados por los matemáticos (desde Euler) por su importancia en el análisis combinatorio, pero para usarlos en el diseño de experimentos era necesario (en la concepción de Fisher) enumerarlos, como requisito previo para su aleatorización correcta. En primera instancia realizó consultas con matemáticos buscando responder a preguntas sobre las técnicas para llenar los cuadrados con probabilidades iguales, pero finalmente él mismo encontró las respuestas. Enumeró para el 5 x 5 los 56 pares simétricos de cuadros reducidos. Posteriormente enumeró los cuadros 6x6. En su enumeración de los 6 x 6 faltaron algunos, encontrados después por Frank Yates (Fisher y Yates, 1934).

En cuanto tuvo las enumeraciones introdujo los cuadros como arreglos experimentales. Muy pronto, las propiedades combinatorias se usarían en el diseño de experimentos con arreglos factoriales, de cuadros greco-latinos de diversos tamaños y de los diseños de bloques incompletos de Yates. La importancia que Fisher atribuía al Cuadro Latino es evidente en las siguientes citas: "Para ensayos de variedades y aquellos simples de nutrición en los que todas las comparaciones posibles tienen la misma importancia ... (el cuadro latino es) ... por mucho, el arreglo más eficiente (y los 5 x 5 y 6 x 6) los de tamaños más útiles" (Fisher, 1926). Más aún, en "The Design of Experiments" escribió: "Si la

experimentación se redujera a la comparación de cuatro a ocho tratamientos o variedades el cuadro latino sería, en consecuencia, no sólo el principal sino casi el diseño universal a emplear. Falla cuando se trata de comparar simultáneamente un número grande de diferentes tratamientos o variedades” (Fisher, 1935).

Arreglos factoriales

La disyuntiva entre atacar un problema analizando un factor a la vez o varios simultáneamente era parte importante del diseño de experimentos en la tercera década del siglo XX. La posición prevalente está claramente expresada en la siguiente cita de E. J. Russell: “Lo principal es tener una idea perfectamente clara de lo que se espera de un experimento. Un experimento es simplemente una pregunta a la naturaleza con la esperanza de descubrir algún secreto. Aun en los experimentos mejor planeados la respuesta usual es ‘sí’ o ‘no’, pero si el experimento está mal planeado, puede no haber respuesta..... El principal requerimiento es la simplicidad; debe plantearse sólo una pregunta a la vez” (Russell, 1926).

Fisher respondió en ese mismo año a quien entonces era su jefe directo, argumentando que a menudo la respuesta de un factor está condicionada por la de otro, por lo que ciertas preguntas deberían ser formuladas al mismo tiempo. De hecho, era la estrategia seguida por él en su primer diseño factorial que estaba siendo conducido por Eden en Rothamsted en 1926. Contra el requerimiento de simplicidad de Russell, Fisher escribió: “No hay aforismo más frecuentemente citado en relación con ensayos de campo que aquél que dicta que deberíamos formular a la Naturaleza pocas preguntas o, idealmente, sólo una a la vez. El autor tiene la certeza de que este punto de vista es totalmente erróneo. La Naturaleza, sugiere, responderá mejor a un cuestionario pensado lógicamente y cuidadosamente. Sin duda, si le presentamos una sola pregunta, a menudo se rehusará a contestarla hasta que algún otro tópico haya sido resuelto” (Fisher, 1926).

Según J. F. Box, el tipo de cuestionario que Fisher proponía tenía su origen en la propia naturaleza y en su interés temprano en la genética y las ideas mendelianas, recuperado en un artículo de 1952 donde escribió: “El método factorial de experimentación, ahora de interés en campos tan distantes como la psicología o la química industrial, deriva su estructura y su nombre de la herencia simultánea de factores Mendelianos” (Fisher, 1952).

Confusión, bloques incompletos

El arreglo de factoriales en bloques tiene un problema evidente. Mientras más grande el factorial, es decir, mientras mayor número de factores involucra se torna más eficiente, puesto que permite investigar más variables simultáneamente.

Pero a medida que un bloque crece, tiene mayor heterogeneidad en el suelo. Fisher percibió que la misma estructura factorial ofrecía la solución. Su primera aportación fue en un 2³. Suponiendo que la interacción triple era poco importante podía hacer bloques de 4, dos de los cuales completaban una repetición. Aquí surge el concepto de confusión. Posteriormente se explotaban otros esquemas de confusión, dando origen a los diferentes diseños de bloques incompletos, incluyendo parcelas divididas, bloques balanceados, bloques parcialmente balanceados, latices, y otros etcétera. De su invención en la agronomía su uso se extendió a todas las ramas de la investigación, principalmente a la industrial. El trabajo fundamental de Fisher en el diseño de experimentos fue continuado por F. Yates, G. E. P. Box, G. Cox, W. G. Cochran y G. Snedecor entre otros, pero lo realmente esencial estaba dicho por él alrededor de 1935.

BALANCE DE FISHER EN ROTHAMSTED

En 1919 Fisher tuvo que elegir entre una posición en el laboratorio de Eugenesia de Galton, que le ofreció Karl Pearson, y otra que resultó de una solicitud de Sir John Russell a Harvard y Cambridge para seleccionar a un matemático joven con capacidad para examinar, con una perspectiva nueva, los datos acumulados en Rothamsted. Sobre la decisión de Fisher para trabajar en Rothamsted, Sir Maurice G. Kendall ha escrito: “Jamás hubo una designación más feliz. En los 14 años siguientes Fisher consagró a Rothamsted como uno de los “Lugares Santos” del mundo estadístico. “Él mismo floreció en el medio agronómico en un grado difícilmente predecible, inspirándose en todas las líneas de investigación de la estación experimental y contribuyendo en estudios de rendimientos de cosechas, lluvia, conteos bacteriales, genética y, sobre todo, ensayos de campo ...” (Kendall, 1962).

FISHER DESPUES DE ROTHAMSTED

En 1933 Karl Pearson se retiró, y su departamento en University College fue dividido en dos. Fisher dejó Rothamsted y ocupó la cátedra de Eugenesia. Egon Pearson (hijo de Karl) se hizo cargo de Estadística. A partir de su incorporación al Laboratorio Galton en 1933 volvió a su pasión original trabajando en la genética humana, grupos de sangre y otros temas diversos. No abandonó nunca sus reflexiones sobre la lógica de la inferencia, pero ese es un tema polémico y digno de análisis en otra ocasión. Sobre este particular basta citar los siguientes comentarios de Sir Maurice G. Kendall: “... (en 1943) ... aceptó una posición como profesor de Genética en Cambridge. Su trabajo en estadística teórica estaba prácticamente completo, aunque a menudo lo retomó para argüir detalles de inferencia con algún hereje. Deberían mencionarse, quizá, dos de sus últimas publicaciones, el panfleto llamado “Smoking and Cancer” (1959) y el libro “Statistical Methods and Scientific Inference” (1956).

Personalmente, desearía que no hubiera escrito ninguno de ellos. Independientemente de los méritos a favor y en contra de los argumentos en la controversia sobre la causalidad en el debate cáncer - tabaco, la intervención de Fisher no arrojó ningún beneficio para la estadística en general, o para el tema en particular, y mientras menos se diga sobre esto, mejor. Su libro sobre Inferencia Científica, amén de estar lleno de sus usuales y provocadores ataques a sus opositores, añadió muy poco a lo previamente dicho. Todavía poseía el toque mágico, como lo atestigua su artículo (1953) sobre dispersión en la esfera; “pero si tuviéramos que sacrificar alguno de sus escritos, estos dos tendrían una alta prioridad” (Kendall, 1962)”. Hay que recordar que en 1962 los vínculos entre cáncer y tabaquismo todavía eran motivo de debate, pero también subrayar que los argumentos de Fisher eran ciertamente ingeniosos.

Aunque Fisher continuó activo hasta su muerte en Adelaide, Australia, en 1962, su trabajo pionero indiscutible en estadística y, sobre todo, en el diseño de experimentos, estaba completo en 1935.

EL LEGADO DE FISHER

A la muerte de Fisher, en 1962, David J. Finney, uno de los más ilustres estadísticos del siglo XX escribió: “Pocos hombres pueden haber tenido la experiencia de fundar una ciencia, hacer muchas contribuciones a su desarrollo y verla madurar. Entre ellos, Ronald Aylmer Fisher seguramente será recordado como uno de los más distinguidos” (Finney, 1962).

En todo el siglo XX Fisher es, seguramente, uno entre los 10 científicos de mayor influencia, aun cuando el impacto de sus contribuciones sea menos reconocido que el de otros de menor trascendencia. Otra evaluación de su trabajo la presenta Kendall: “Pasarán muchos años antes de que podamos tener una evaluación crítica y objetiva de la obra global de Fisher. Pero hay hechos indiscutibles. Él llevó su disciplina a niveles inéditos de desempeño. Su trabajo matemático en teoría de distribuciones no tiene parangón en amplitud y poder. Creó la nueva ciencia del diseño de experimentos. Sus contribuciones a la inferencia científica, aunque posiblemente menos valiosas a largo plazo, al menos fueron detonantes de buena parte de los debates sobre la materia en todo el mundo. Como es el caso de todo estadístico ‘de verdad’, su trabajo teórico estuvo ligado a indagaciones prácticas de extrema importancia” (Kendall, 1962). Sobre lo que Kendall entendía por un estadístico “de verdad”, es ilustrativo el siguiente párrafo escrito por Frank Yates, sucesor de Fisher en Rothamsted: “Es común entre los matemáticos el malentendido de que sólo pueden generarse nuevos métodos estadísticos por un proceso de razonamiento puro, sin contacto alguno con los sórdidos datos numéricos. Parte de la fortaleza de Fisher fue que, siendo un matemático brillante, no tenía ningún respeto por esta idea.

Él mismo no dudó en involucrarse en el análisis de conjuntos de datos que le interesaban. El acelerado avance del análisis y el diseño de experimentos son deudores de esta actitud” (Yates, 1962).

FISHER, EL INDIVIDUO

Si hubiéramos de elegir un testimonio válido sobre Fisher, el individuo, tendríamos que recurrir al de Sir Maurice G. Kendall: “Como persona fue, sin duda, un hombre difícil. Dentro de su amplio círculo de admiradores aceptaba la deferencia con cierta gracia. Con los demás, parecía suponer que su genio le daba derecho a mayores consideraciones sociales que las que los demás estaban dispuestos a concederle. Con frecuencia era innecesariamente rudo. En su obra escrita pocas veces reconoció sus deudas con otros estadísticos, y si llegaba a mencionarlos era sólo para corregirlos o denigrarlos. De hecho, para tener su aprobación escrita en sus últimas publicaciones era indispensable haber estado muerto varios años. Y, sin embargo, su correspondencia inédita modifica la impresión de intolerancia petulante que a menudo irrumpe en sus publicaciones científicas. Discutió la aleatorización contra el diseño sistemático en la experimentación con Gossett por 30 años, ... sin llegar a un rompimiento. Y yo puedo testificar personalmente que, con aquéllos que no lo contradecían, era bastante afable. Con todas sus fallas humanas él fue, sin duda, realmente un gran estadístico”(Kendall, 1962).

CONCLUSIONES

Fisher fue un individuo excepcional en el momento preciso. Resumió las aportaciones de Darwin y Mendel en una síntesis fundacional de las escuelas Biométrica y Mendeliana a principios del siglo XX. En Rothamsted concibió el análisis de varianza, el concepto de aleatorización y creó el Diseño de Experimentos, con los diseños en bloques, cuadros latinos y de bloques incompletos. De su trabajo se derivan todos los diseños actualmente vigentes. Su libro “Statistical Methods for Research Workers” (1925) es el primer tratado moderno de inferencia científica, y el de 1935 “The Design of Experiments” es el agente responsable de los cambios más importantes en la metodología científica contemporánea. Directa o indirectamente es, casi seguramente, el autor más citado en la literatura científica actual. Su interacción con investigadores en ciencias biológicas y principalmente con agrónomos, es un ejemplo de colaboración fructífera entre ramas aparentemente poco relacionadas de la investigación. Un hecho difícil de rebatir es que, como consecuencia del trabajo de Fisher, las disciplinas mejor informadas en métodos cuantitativos de inferencia han sido, durante más de tres cuartos de siglo, las agronómicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Box J F (1978)** R. A. Fisher: The Life of a Scientist. John Wiley & Sons. New York. 512 p.
- Box J F (1980)** R.A. Fisher and the Design of Experiments. The American Statistician. 34: 1-7.
- Bronowsky J (1978)** The Common Sense of Science. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts. 154 p.
- Clark R W (1971)** Einstein. The Life and Times. World Publishing Co. New York. 717 p.
- Clark R W (1974)** The Scientific Breakthrough: The Impact of Modern Invention. G. P. Putnam's Sons. New York. 205 p.
- Cochran W G (1980)** Fisher and the analysis of variance. *In*: R. A. Fisher: An Appreciation. S E Fienberg, D V. Hinkley (eds). Springer-Verlag. New York. pp: 17-34.
- Darwin Ch (1859)** The Origin of the Species by Means of Natural Selection. Encyclopaedia Britannica, Inc. Chicago. The Great Books, vol. 49, 23rd printing, 1980. 251 p.
- Fienberg S E, J M Tanur (1996)** Reconsidering the fundamental contributions of Fisher and Neyman on experimentation and sampling. *Internatl. Stat. Rev.* 64:237-253.
- Finney D J (1962)** Appreciations of R.A. Fisher. *Biometrics* 18:437-441.
- Fisher R A (1912)** On an absolute criterion for fitting frequency curves. *Messeng. Math.* 41:155-160. [1. Vol. I en C.P].
- Fisher R A (1915)** Frequency distribution of the values of the correlation coefficient in samples from an indefinitely large population. *Biometrika* 10:507-521. [4. Vol. I en C. P].
- Fisher R A (1918)** The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance. *Trans. Roy. Soc. Edinb.* 52:399-433. [9.Vol. I en C. P.].
- Fisher R A (1925)** Statistical Methods for Research Workers. Oliver and Boyd. Edinburgh. 8th ed. revised and enlarged. 1941. 344 p.
- Fisher R A (1926)** The arrangement of field experiments. *J. Min. Agric. G. B.* 33:503-513. [48. Vol. II en C. P.] .
- Fisher R A (1935)** The Design of Experiments. Oliver and Boyd. Edinburgh. 2nd ed. 1937. 260 p.
- Fisher R A (1947)** The renaissance of Darwinism. *Listener* 37:1001-1009. [217. Vol. IV en C. P.].
- Fisher R A (1952)** Statistical methods in genetics. *Heredity* 6:1-12. [248. Vol. V en C. P.].
- Fisher R A, Mackenzie W A (1923)** Studies in crop variation. II. The manurial response of different potato varieties. *J. Agric. Sci.* 13:311-320. [32. Vol. I en C. P.].
- Fisher R A, T Eden (1927)** Studies in Crop Variation IV. The experimental determination of the value of top dressings with cereals. *J. Agric. Sci.* 17:548-562. [57. Vol. II C. P.].
- Fisher R A, F Yates (1934)** The 6x6 Latin Squares. *Proc. Camb. Phil. Soc.* 30:492-507. [110. Vol. III en C. P.] .
- Galton F (1869)** Hereditary Genius : an Inquiry into its Laws and Consequences. (Classics in psychology series, 1979. Reprint of the 1869 ed.). St. Martin, subsidiary of Macmillan Publishing Co. New York. 423 p.
- Kendall M G (1962)** Ronald Aylmer Fisher, 1890-1962. *Biometrika* 49:439-453.
- Russell E J (1926)** Field experiments. How are they made and what they are. *J. Min. Agric. G. B.* 32:989-1001
- Russell E J (1966)** A History of Agricultural Science in Great Britain. 1620-1954. Allen and Unwin, London. 493 p.
- Stigler S M (1986)** The History of Statistics: the Measurement of Uncertainty before 1900. The Belknap Press of Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, and London, England. 410 p.
- “Student” (1936)** Cooperation in Large Scale Experiments. *JRSS, Suppl.* 3:115-122.
- Thornton H G (1966)** “Edward John Russell 1872-1965”. *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 12:457-477.
- Yates F (1962)** Appreciations of R. A. Fisher. *Biometrics* 18:442-447.

NOTA: Muchos artículos de Fisher aparecieron originalmente en publicaciones periódicas que no es fácil localizar actualmente. Sin embargo, su obra casi completa ha sido reunida en cinco volúmenes:

COLLECTED PAPERS OF R. A. FISHER (Vols. 1-5). 1971-1974. J. H. Bennet (ed). The University of Adelaide. Adelaide, Australia. Para proporcionar mayor información al lector, en cada artículo se anota la publicación original, y se indica también su ubicación en *Collected Papers* [C. P.]