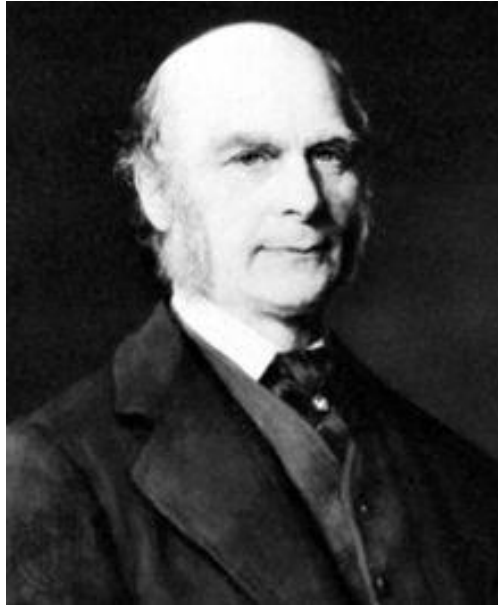


Aportaciones de Francis Galton y Karl Pearson a la Psicología Diferencial

Francis Galton



Fecha de nacimiento: 16 de febrero de 1822, Birmingham, Reino Unido

Fallecimiento: 17 de enero de 1911, Haslemere, Reino Unido

Estudiantes doctorales: Karl Pearson

Padre: Samuel Tertius Galton

Educación: King's College de Londres, Trinity College, Cambridge University

Ocupación: polímata, antropólogo, geógrafo, estadístico, explorador, inventor, meteorólogo, estadístico, psicólogo y eugenista británico con un amplio espectro de intereses. Galton produjo más de 340 artículos y libros. Creó el concepto estadístico de correlación y regresión hacia la media, altamente promovido.

Él fue el primero en aplicar métodos estadísticos para el estudio de las diferencias humanas y la herencia de la inteligencia, introdujo el uso de cuestionarios y encuestas para recoger datos sobre las comunidades humanas, que necesitaba para trabajos genealógicos y biográficos y para sus estudios antropométricos.

Fue un pionero en la eugenesia, acuñando el término en sí mismo y la "frase de la naturaleza versus la crianza". Su libro "El genio hereditario" (1869) fue el primer intento científico social para estudiar el genio y la grandeza.

Como investigador de la mente humana, fundó la psicometría (la ciencia de la medición de las facultades mentales), la psicología diferencial y la hipótesis léxica de la personalidad. Él ideó un método para clasificar las huellas dactilares que resultaron útiles en la ciencia forense. Su búsqueda de los principios científicos de diversos fenómenos se extendió incluso al método óptimo para hacer té.

Como iniciador de la ciencia meteorológica, ideó el primer mapa del tiempo, propuso una teoría de los anticiclones y fue el primero en establecer un registro completo de los fenómenos climáticos a corto plazo a escala europea. También inventó el silbato de Galton para probar la capacidad auditiva diferencial.

No tuvo cátedras universitarias y realizó la mayoría de sus investigaciones por su cuenta. Sus múltiples contribuciones recibieron reconocimiento formal cuando, a la edad de 87 años, se le concedió el título de sir o caballero del Reino.

Primo de Charles Darwin, aplicó sus principios a numerosos campos, principalmente al estudio del ser humano y de las diferencias individuales. En 1901 fue junto con Karl Pearson y Walter Weldon, cofundador de la revista científica *Biometrika*.

Aportaciones científicas

1. Historiometría

El método utilizado en "Hereditary Genius" ha sido descrito como el primer ejemplo de la historiometría. Para reforzar los resultados y tratar de hacer una distinción entre "naturaleza" y "aprendizaje" (fue el primero en aplicar esta frase), ideó un cuestionario que se envió a 190 Fellows de la Royal Society. Tabuló las características de sus familias, tales como, entre otros, el orden de nacimiento, la ocupación y la raza de sus padres. Trató de descubrir si su

interés por la ciencia era "innato" o causado por los estímulos de los demás. Los estudios fueron publicados en 1874, en forma de libro: "English men of science: their nature and nurture". Aunque no resolvió la cuestión "nature / nurture" proporcionó algunos datos fascinantes sobre la sociología de los científicos de su tiempo.

2. La hipótesis del léxico

Galton fue el primer científico en reconocer lo que se conoce como la hipótesis léxica. Esta hipótesis hace referencia al hecho de que las diferencias de personalidad más importantes y socialmente más relevantes son las que se convertirán en el lenguaje codificado. La hipótesis sugiere que mediante el idioma, es posible derivar una taxonomía exhaustiva de los rasgos de la personalidad.

3. El cuestionario

Las investigaciones de Galton sobre la mente requieren el registro detallado de conceptos subjetivos de las personas y de como sus mentes tratan con imágenes mentales. A fin de obtener mejor información, fue pionero en el uso del cuestionario. En un estudio, pidió a sus compañeros de la Royal Society describir las imágenes mentales que experimentaron. En otro, recogió encuestas de eminentes científicos para un trabajo de análisis de los efectos de la naturaleza y la educación sobre la propensión hacia el pensamiento científico.

4. Variación y desviación estándar

El núcleo de cualquier análisis estadístico es el concepto de que las mediciones pueden variar, tienen una tendencia central. A finales de 1860, Galton concibió una medida para cuantificar la variación normal y la desviación estándar.

Galton era un agudo observador. En 1906, visitando una feria de ganado, se topó con un concurso intrigante. Un buey estaba en exhibición y los aldeanos debían adivinar el peso del animal después de haber sido sacrificados y preparados. Casi 800 participaron, y Galton fue capaz de estudiar sus respectivas entradas después del evento. Galton desestimó la media expresada por la voz del pueblo, todos pensaron que su estimación fue

demasiado baja o demasiado alta, su estimación fue de 1.207 libras. Para su sorpresa, este estaba dentro de 0,8% del peso medido por los jueces. Poco después, en respuesta a una pregunta, se declaró el peso como 1.197 libras, pero no hizo comentarios sobre su exactitud mejorada. Recientes investigaciones en los archivos han encontrado algunos errores en la transmisión de los cálculos de Galton, la media era en realidad 1208 libras, y el peso en canal de los bueyes era de 1.197 libras, por lo que la estimación no tenía error. James Surowiecki juzga este peso como ejemplo de apertura, si hubiera sabido el verdadero resultado, su conclusión se habría expresado con más fuerza.

El mismo año, Galton sugirió en una carta a la revista Nature un mejor método de cortar una torta redonda, evitando la realización de incisiones radiales.

5. Obtención experimental de la distribución normal

Estudiando la variación, Galton inventó el "quincunx", un dispositivo conocido como la "máquina de frijol" o la "máquina de Galton", una herramienta para la demostración de la ley de error y la distribución estándar.

6. Distribución normal bivariada

También descubrió las propiedades de la distribución estándar de la doble variación y su relación con el análisis de regresión.

7. Estadística, regresión y correlación

Las investigaciones de Galton fueron fundamentales para la constitución de la ciencia de la estadística:

- Inventó el uso de la línea de regresión, siendo el primero en explicar el fenómeno de la regresión a la media.
- En las décadas de 1870 y 1880 fue pionero en el uso de la distribución normal.
- Inventó la máquina Quincunx, un instrumento para demostrar la ley del error y la distribución normal.
- Descubrió las propiedades de la distribución normal bivariada y su relación con el análisis de regresión.

- En 1888 introdujo el concepto de correlación, posteriormente desarrollado por Pearson y Spearman

Diagrama de correlación de Galton 1886. En 1846, el físico francés Auguste Bravais (1811-1863) desarrolló por primera vez lo que sería el coeficiente de correlación. Después de examinar las mediciones del antebrazo y de la altura, Galton redescubrió el concepto de correlación en 1888 y han demostrado su aplicación en el estudio de la herencia, la antropología, y la psicología. Es un estudio estadístico posterior a Galton de la probabilidad de extinción de apellidos que condujo al concepto de procesos estocásticos Galton-Watson. Ahora se conoce como un núcleo de la estadística moderna y de regresión.

Galton inventó el uso de la línea de regresión y de la elección para representar el coeficiente de correlación.

Entre los años 1870 y 1880 fue pionero en el uso de la teoría de la normalidad para encajar histogramas para datos tabulados reales, por ejemplo, las muestras de hermanos en relación a la altura de los padres. Considerando los resultados de estos estudios empíricos llegó a sus nuevas perspectivas sobre la evolución, la selección natural y la regresión a la media.

8. Regresión hacia la mediocridad

Galton fue el primero en describir y explicar el fenómeno común de regresión mediante sus experimentos sobre el tamaño de las semillas de las generaciones sucesivas de guisantes dulces.

Observó el fenómeno en el contexto de regresión lineal simple de puntos de datos. Desarrolló el siguiente modelo: gránulos caen a través de un quincunx o "máquina bean " se forma una distribución normal centrada directamente debajo de su punto de entrada. Estos gránulos podrían ser liberados hacia abajo en una segunda galería (que corresponde a una segunda ocasión de medición. Galton entonces hizo la pregunta inversa "de dónde vienen estas bolas?"

La respuesta no era "en promedio directamente encima". Más bien era "en promedio, más hacia el centro", por la sencilla razón de que había más bolas por encima de ella hacia el medio que podía vagar dejando que los que había en el extremo izquierdo pasen a la derecha, es decir, hacia el interior.

9. Teorías de la percepción

Galton fue más allá de la medición, para intentar explicar los fenómenos que observa. Entre estos desarrollos, propuso una teoría temprana de las gamas de sonido y la audición, recogió grandes cantidades de datos antropométricos del público a través de su popular y de larga duración antropométrica en su Laboratorio, que se estableció en 1884, y donde estudió a más de 9.000 personas. No fue hasta 1985 que estos datos se analizaron en su totalidad. Descubrió también que el oído humano pierde con la edad la percepción de las ondas de alta frecuencia (tonos agudos).

10. Psicología diferencial

Los estudios de Galton de las capacidades humanas lo condujeron a la creación de la psicología diferencial y la formulación de las primeras pruebas mentales. Estaba interesado en la medición de los seres humanos en todas las facetas posibles. Esto incluía la medida de su capacidad de discriminación sensorial que él asumió que estaba vinculada a la destreza intelectual. Galton sugirió que las diferencias individuales en la capacidad global se reflejan en el rendimiento de las capacidades sensoriales relativamente simples y en la velocidad de la reacción a un estímulo, variables que se pueden medir objetivamente mediante pruebas de discriminación y de tiempo de reacción sensorial.

También midió la rapidez de reacción de la gente, lo que relacionó con un mecanismo interno que en última instancia limita la capacidad de inteligencia. A lo largo de su investigación Galton supuso que las personas que reaccionaban más rápidamente eran más inteligentes que las demás.

La polémica del debate entre naturaleza y crianza actualmente está llegando a un consenso en torno a la influencia de la naturaleza, del ambiente, y especialmente de la naturaleza vía ambiente (nature vía nurture) en el comportamiento. Este hecho se ve reflejado en el "modelo biométrico de descomposición de la varianza". Este modelo nos dice que las relaciones entre genes y ambiente son bidireccionales; el ambiente puede modular la expresión de los genes, los genes pueden modular el impacto del ambiente durante el

desarrollo, o bien los genes pueden llegar a determinar el ambiente en el que se expresan. Este modelo fue formulado gracias a las aportaciones de Galton al estudio de las bases genéticas.

Galton se considera el padre del estudio de las bases genéticas de la capacidad cognitiva general. En su libro "Hereditary genius: an inquiry into its laws and consequences", (1892), fue el primero en investigar científicamente las causas genéticas y ambientales de las diferencias individuales en humanos. Según Galton si un rasgo está determinado genéticamente, cuando más cercanos sean dos parientes, más similares deberían ser por aquel disparo. Años después Ronald Fisher ofreció la primera explicación matemática de cómo las correlaciones entre familiares podían ser explicadas sobre la base de la herencia mendeliana (Neale & Maes, en prensa).

Galton estableció las bases de los estudios de gemelos, adopciones y familias y evidenció que la probabilidad de ser considerado un hombre de reputación aumentaba con la proximidad de parentesco. Gracias a este tipo de estudios, podemos separar la variable ambiente en los componentes compartidos e independientes (por ejemplo, las diferencias entre parejas de gemelos monocigóticos que han vivido juntas serían en el ambiente no compartido). También posibilitan los estudios de control, por ejemplo, hacer una intervención en el gemelo A y en el otro no, a fin de probar la eficacia de un tratamiento. También permiten examinar las condiciones de manifestación de una psicopatología (analizando los factores ambientales de riesgo). Algunas limitaciones de estos modelos, por ejemplo, los estudios de gemelos, destacan la excesiva simplificación de las relaciones entre el genotipo y ambiente, así como no tener en cuenta los ambientes pre-natales, o las críticas al sesgo de las muestras de gemelos.

11.Composición Fotográfica

Galton también ideó una técnica llamada " el retrato compuesto " (producido por la superposición de múltiples retratos fotográficos de las caras de los individuos registrados en sus ojos) para crear una cara común. En la década de 1990, cien años después de su descubrimiento, muchas investigaciones

psicológicas han examinado el atractivo de estas caras, un aspecto que Galton había comentado sobre en su conferencia inicial. Otros, incluyendo a Sigmund Freud en su obra sobre los sueños, recogieron la sugerencia de Galton donde estos compuestos podrían representarse con una metáfora útil para un tipo ideal o un concepto de una "clase natural", tales como los hombres judíos, criminales, los pacientes de tuberculosis, etc. Sobre la misma placa fotográfica, reproduciendo de este modo un "compuesto" que esperaba que se podría generalizar el aspecto de la cara. Este trabajo se inició en la década de 1880, mientras que el erudito judío Joseph Jacobs estudió antropología y estadísticas con Francis Galton. Jacobs pidió a Galton crear una fotografía compuesta de un tipo de judía. Una de las primeras publicaciones de Jacobs que utilizan las imágenes compuesto de Galton era 'el tipo judía y las fotografías compuestas de Galton. Galton esperaba que su técnica pudiera ayudar al diagnóstico médico, e incluso la criminología a través de la identificación de rostros criminales típicos. Sin embargo, después de mucho trabajo y de la colaboración de fotógrafos como Lewis Hine y John L. Lovell y Arthur Batut, su técnica no resultó útil y cayó en desuso.

12. Huellas dactilares

Galton estima la probabilidad de que dos personas tengan la misma huella digital y por ello estudió la heredabilidad y las diferencias raciales en las huellas dactilares. Él escribió acerca de la técnica de la identificación de patrón común en las huellas dactilares y en la elaboración de un sistema de clasificación que ha llegado hasta nuestros días.

El método de identificación de los delincuentes por sus huellas dactilares se había introducido en la década de 1860 por Sir William James Herschel en la India y su uso potencial en el trabajo forense fue propuesto por primera vez por el Dr. Henry Faulds en 1880, pero Galton fue el primero en colocar el estudio en una base científica, que ayudó a su aceptación por los tribunales. Galton señaló que había ciertos tipos de patrones de huellas digitales. Describió y las clasificó en ocho amplias categorías:

1. Arco llano
2. Arco de tiendas de campaña
3. Bucle simple
4. Bucle central de bolsillo
5. Doble bucle
6. Bucle bolsillo lateral
7. Verticilo llanura
8. Accidental

KARL PEARSON



Karl Pearson fue historiador, escribió sobre folklore, fue un socialista convencido, abogado, matemático aplicado, biómetra, estadístico, maestro y biógrafo. Pero sin duda su contribución más importante es al nacimiento de la Estadística Aplicada. Es por lo que le debemos el mayor crédito, en frase de él mismo "Hasta que los fenómenos de cualquier rama del conocimiento no

hayan sido sometidos a medida y número, no se puede decir que se trate de una ciencia".

Introdujo el método de los momentos para la obtención de estadísticos, el sistema de curvas de frecuencias para disponer de distribuciones que pudieran aplicarse a los distintos fenómenos aleatorios, desarrolló la correlación lineal para aplicarla a la teoría de la herencia y de la evolución. Introdujo el método de la χ^2 para dar una medida de ajuste entre datos y distribuciones, para contrastar la homogeneidad entre varias muestras y la independencia entre variables. Fundó los Anales de Eugenesia y en 1900, junto con Galton y Weldon, fundó la revista Biometrika de la que fue editor hasta su muerte. En una descripción autobiográfica decía "una explicación para mi vida, se debe a una combinación de dos características que he heredado: capacidad para trabajar mucho y capacidad para relacionar las observaciones de los demás".

Datos biográficos.

Nace en Londres en 1857 y muere en 1936, su familia es originaria de Yorkshire. Hijo de un abogado, estudia en la University College School. En 1873, a la edad de 16 años fue retirado de la escuela por motivos de salud, y pasa el año siguiente con un preceptor privado. En 1875 obtuvo una beca para él King's College, en Cambridge. Él decía que Cambridge le dio, placer en las amistades, placer en las polémicas, placer en el estudio, placer en la búsqueda de nuevas luces, tanto en las matemáticas como en la filosofía y la religión; así como ayuda para mantener su radicalismo científico dentro de los límites moderados y razonables. Con 22 años marcha a Alemania y estudia leyes, física y metafísica. Entre 1880 y 1884 es profesor de matemáticas en el King College y en el University College. En 1911 fue el primer profesor de Galton de Eugenesia, la nascente parte de la Biología encargada de los estudios encaminados a conseguir la mejora de las especies. Era un darwinista convencido.

En el año 1890 se producen dos sucesos importantes para la trayectoria científica de Pearson; Galton publica su Herencia Natural donde incluye sus

trabajos de correlación y regresión y Weldon se incorpora a la cátedra de zoología en el University College de Londres. Los primeros trabajos le van a dotar de una herramienta, con la que cuantificar las medidas de dependencia con la que va a poder contrastar, con resultado positivo, la teoría de la evolución introducida por Darwin. La figura de Weldon le va a permitir trabajar con un biólogo que compartía sus ideas de la evolución y que sería una fuente inagotable de cuestiones, que obligarían a Pearson a ir obteniendo técnicas estadísticas que le permitieran responder a los problemas que Weldon le planteaba. Entre 1891 y 1892 imparte conferencias sobre la geometría de la estadística en el Gresham College, y en ellas introduce los estigmogramas, entigramas, histogramas, cartogramas, stereogramas, etcétera. Estas lecturas marcan el comienzo de una nueva época en la teoría y la práctica de la estadística.

Entre 1893 y 1906 publica unos 100 artículos sobre la teoría estadística y sus aplicaciones. La capacidad de investigación de Pearson es asombrosa, a lo largo de su vida publicó más de 650 artículos, fundó junto con Galton y Weldon, en 1901, la revista *Biometrika* para publicar artículos de estadística aplicada a la biología, ese mismo año publica sus *Tablas para Estadísticos y Biométristas* para ayudar a los ajustes de curvas. En 1905 publica el artículo sobre la teoría general de la correlación asimétrica y la regresión no lineal. En 1914 Fisher empieza la polémica con él cuando trata de publicar un artículo en *Biometrika*, sobre el coeficiente de correlación muestral para muestras de una población normal bivalente. El artículo fue referenciado por Weldon como biólogo y por K. Pearson como estadístico y fue rechazado. Posteriormente Fisher diría que su artículo había sido referenciado por un biólogo que no sabía estadística y por un estadístico que no sabía biología.

Para completar la personalidad de K. Pearson, decir en su primera época, cuando descubre que los valores de la ruleta no son aleatorios, escribe el gobierno francés para que cierre los casinos y dedique el dinero a la Academia de Ciencias, para que se funde un laboratorio de probabilidad, que aplique ésta al problema de la evolución biológica.

Contribuciones de Karl Pearson.

La primera contribución de Karl Pearson que me interesa citar, sobre todo en este contexto, es su serie de conferencias sobre la Historia de la Estadística que dio en el University College de Londres entre los años de 1921 y 1933. Las conferencias fueron recogidas por su hijo Egon Pearson, catedrático de Estadística en el University College también, y que aunque algunas personas no eran partidarias de su publicación sin ser revisadas, constituyen un valioso documento para la historia.

Para hacerse una idea del tipo de trabajo que entraña transcribimos la siguiente cita de la introducción de las conferencias, tomadas del prefacio de las conferencias dadas por Karl Pearson.

Lleva mucho tiempo leer las fuentes originales. En la historia de la estadística muy poca gente se ha tomado la molestia de hacerlo. Yo podría dar muchos ejemplos, de la cantidad de errores que ha propiciado esta conducta, pero me concentraré con poner tres o cuatro.

1. Muchos alemanes llaman Achenwall el "padre de la estadística", cuando no es así. El aplicaba el término con un significado distinto al que se aplica actualmente.
2. Hay una curva fundamental en estadística que lleva el nombre de Gauss. Laplace la descubrió 10 años antes y su descubridor real fue De Moivre medio siglo antes.
3. Hay un teorema fundamental en estadística es el teorema de Bernoulli, cuando su descubridor fue también De Moivre.
4. Más recientemente, y yo soy parte culpable, el coeficiente de correlación lineal ha sido atribuido a Bravais, cuando debiera haberlo sido a Galton.

Las segundas contribuciones la familia de curvas de Karl Pearson.

La siguiente contribución fue el método de la distancia de la χ^2 para dar una medida de ajuste entre una distribución teórica y una experimental.

El cuarto procedimiento que nos legó Pearson, fue la concreción de la definición del coeficiente de correlación lineal para el estudio de la dependencia estadística y el método de los momentos para determinar los

parámetros desconocidos de una distribución, cuando se dispone de una muestra aleatoria simple de la misma.

La familia de distribuciones asimétricas.

Karl Pearson introduce la familia de distribuciones asimétricas como una alternativa a la distribución normal, que había sido la protagonista ya desde el tiempo de Quetelet. Llega a la familia de distribuciones razonando sobre una mixtura de dos distribuciones normales y concluye que puede haber situaciones en las que los errores de las observaciones no sean normales y por lo tanto se consigan mejores ajustes a situaciones prácticas mediante las mixturas. Los problemas técnicos en los que se ve envuelto son de envergadura, para la determinación de los parámetros se reforzaba resolver una ecuación de grado 9. Esto es lo que le llevó a Galton a dudar de la corrección del método. No obstante, fue la resolución del problema de la mixtura lo que le hizo abordar el problema de la obtención de distribuciones que permitieran sustituir a la normal para modelizar la incertidumbre.

Introduce la familia de distribuciones en su publicación K. Pearson (1895), mediante la solución de la ecuación diferencial

$$\frac{1}{y} \frac{dy}{dx} = \frac{-x}{c_1 + c_2 x + c_3 x^2}$$

Obtiene, para valores convenientes de las constantes, la distribución Beta simétrica, la distribución Beta asimétrica, la Gamma y la Normal.

Además, para ajustar los parámetros introduce el método de los momentos.

El método de la distancia de la χ^2 .

Está contenido en una memoria de 1900 y lo introduce para dar una medida del ajuste entre una distribución de probabilidad y una muestra.

La idea es, dada la muestra (x_1, x_2, \dots, x_n) y la distribución $f(x/\theta)$ construir el estadístico

$$\sum_{i=1}^k \frac{(Y_i - y_i)^2}{y_i}$$

Que se distribuye χ^2_{k-1} , si la muestra proviene de la distribución. Donde se supone realizada una partición de elementos en el recorrido de la distribución, con lo que los valores Y_i , las frecuencias observadas de los x_i en el elemento i de la partición, puede suponerse con distribución multinomial, e y_i son las frecuencias observadas bajo la hipótesis de que la distribución de la muestra es $f(x/\theta)$.

El procedimiento sería generalizado a los problemas de homogeneidad y a las tablas de contingencia, por el propio Karl Pearson y por sus discípulos, Edgeworth y Yule, para culminar en los trabajos posteriores de Fisher. Información relevante de esta evolución puede verse en Stigler (1986) el desarrollo de los métodos puede verse en Gómez Villegas (2005).

El coeficiente de correlación lineal.

La medida de la independencia entre dos variables ha tenido una larga historia y ha preocupado, básicamente por su utilidad práctica, a bastantes científicos. Es Galton, el que consigue concretar su definición, aunque todavía incorrecta, pero es Karl Pearson el que en dos memorias consigue precisarlo. La primera titulada "regresión, herencia y panmixia" es de 1896; la segunda, escrita en colaboración con Filón "Sobre los errores probables de las frecuencias y su influencia en la selección aleatoria, la variación y la correlación" es de 1898. En la primera memoria, está incluida con precisión la definición del coeficiente de correlación muestral como

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

$$S_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}), S_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \text{ y } S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

y también incluye la distribución del coeficiente de correlación poblacional ρ en el caso de una distribución normal bivalente. Curiosamente aplica un razonamiento bayesiano para determinar la distribución del coeficiente de correlación poblacional.

En la diferenciación entre el coeficiente de correlación muestral y poblacional, afirma que r es el estimador más probable de ρ , en concreto enuncia sin demostrarlo, que el valor que maximiza la distribución de probabilidad final que ha obtenido para ρ es el coeficiente de correlación muestral, con lo que anticipa el método de estimación de la máxima verosimilitud que posteriormente desarrollará Fisher.

En el verano de 1933 renuncia a su cátedra y se retira, el University College de Londres divide su cátedra en tres; una de Eugenesia que fue desempeñada por Fisher, una de Estadística que fue desempeñada por Egon Pearson, el hijo de Karl Pearson, y una de Biometría. Puede decirse que en ese momento ha sido creada la estadística aplicada como un procedimiento para tratar la incertidumbre y para ser aplicada a todas y cada una de las ciencias experimentales.