ILUIL, *vol. 29, 2006, 71-94*

Las ciencias de observación en Portugal

NUNO LUÍS MADUREIRA
Universidad de Lisboa, ISCTE

RESUMEN

En la primera mitad del siglo XIX las élites intelectuales compartían un punto de vista común sobre la autenticidad de los «hechos» como un tipo de conocimiento radicalmente distinto de las «opiniones» y «creencias». Había una desconfianza hacia la teorización, la especulación y toda forma de pensamiento donde los principios aparecieran antes que los hechos, porque estas formas utilizan la percepción personal y, como la experiencia de la medición probaba, la percepción personal está ligada al error. El refinamiento del concepto de observación pone en línea la erradicación de la superstición popular y las creencias políticas, cosas que deben ser convenientemente sustituidas por reglas inductivas y extracción de conocimiento de datos fácticos. Con la deducción de la ecuación de la distribución del error por Gauss y el uso del método de los mínimos cuadrados el ideal de la precisión se convierte en paradigma para los científicos en Europa, pues la inducción estadística permite ahora el control de los errores en las observaciones, el ajuste de protocolos de observación, el énfasis en el detalle claro y riguroso de las circunstancias que rodean al experimento y el autocontrol de la subjetividad residual. Este

ABSTRACT

In the first half of the nineteenth century, the members of the intellectual elite shared a common view about the authenticity of «facts» as a type of knowledge radically distinct from «opinions» and «beliefs». There was a mistrust concerning theorization, speculation and all forms of thought where the principles appeared first than the facts, because these forms make use of personal perception and, as the experience of measurement showed, personal perception is tangled with error. The refinement of the concept of observation brings into line the eradication of popular superstition and political beliefs, things that must be properly substituted by inductive rules and extraction of knowledge from factual data. With the derivation of the equation for the error distribution, by Gauss, and with the use of the method of Least Squares the ideal of precision becomes a paradigm for scientists in Europe, since statistical induction now allows the control of errors in observations, the fine-tuning of protocols of observation, the emphasis on clear and rigorous detail of circumstances that enfold some experiment, and the self-control of residual subjectivity. This article examines the diffusion of the practices of the

Recibido el 27 de octubre de 2005
Aceptado el 22 de febrero de 2007

ISSN 0210-8615

artículo examina la difusión de las prácticas de las «ciencias de la observación» en Portugal argumentando que el ideal de precisión estuvo casi ausente de la ciencia aplicada y representó un papel menor en la imagen social de los científicos. Las consecuencias de esta situación se analizan en la última parte del artículo.

«sciences of observation» in Portugal, arguing that the ideal of precision was almost absent from applied science and played a minor role in the social image of men's of science. The consequences of this situation are analysed in the last part of the article.

Palabras clave: Estadística matemática, Portugal, Siglos XIX-XX.

Key words: Mathematical Statistics, Portugal, 19-20th Centuries.

Se dice de una persona que es observadora cuando no se pierde un detalle de la realidad que le rodea y tiene facilidad para grabar en la mente todos los pormenores y describirlos de modo «fotográfico». En efecto, la atención, la curiosidad y la memoria son las facultades que distinguen a un buen observador. En la actividad científica, el significado de la palabra es bastante diferente, pues la capacidad de realizar una «observación» depende del control de las condiciones en que se produce aquello que es observado. El rigor, la paciencia y la honestidad son las facultades esenciales del científico. De este modo, mientras el uso corriente se refiere a la «observación» como una capacidad relativa al registro de hechos presenciados, el uso científico reserva este concepto no tanto a la descripción de los hechos, como a las circunstancias que los rodean. Ambas aproximaciones son muy diferentes, en la medida en que discutir un acontecimiento no es lo mismo que discutir la percepción personal que alguien tiene de ese acontecimiento. En cierto modo, la diferencia se debe a que la mayor parte de las personas se interesan sobre todo por las cosas que cambian continuamente (lo que se explica, tal vez, porque la volubilidad de los individuos, la multiplicidad de las acciones y la diversidad de los bienes materiales aguza o excita nuestra curiosidad), mientras que la ciencia se interesa por aquello que permanece estable y, por ello, tiende a transformar las observaciones en series de actos iguales y repetitivos.

Todo lo anterior se puede resumir a un problema central: el grado de confianza que se deposita en el observador. En el siglo XIX, el presupuesto de que todas las percepciones obtenidas a través de los sentidos o gracias al empleo de instrumentos técnicos no se libran ni de imperfecciones ni de errores, conduce a un consenso en cuanto a la necesidad de acumular y desarrollar conocimiento sobre los hechos experimentales, es decir metaconocimiento. La conjugación entre una filosofía inductiva y un empirismo ilustrado, que sospecha de las sen-

saciones, va a jugar un papel de primer plano en la precisión de la ciencia, contribuyendo a universalizar los protocolos de validación de experiencias y a facilitar el intercambio de información entre redes de investigadores; a perfeccionar la tecnología de los instrumentos científicos y su respectivo uso; a forjar, por último, el ideal de observación descontaminada de la subjetividad del observador. La idea de agrupar las diferentes ramas del saber en torno a un tronco filosófico común, denominado «ciencias de observación», es el corolario de este proceso.

No es, por ello, una casualidad que sea precisamente durante este período cuando se establezcan las bases sobre las que van a construirse las modernas teorías de la astronomía, la física, la geología, la geodesia, la química y, también, de las ciencias sociales. Las páginas que siguen tratan de indagar en las consecuencias que se derivan del hecho de que Portugal se haya mantenido, durante mucho tiempo, en gran medida al margen de este movimiento científico y de que sólo muy tardíamente se hayan iniciado los procedimientos de verificación de las observaciones. Lo que está en causa es la existencia de una laguna y de un salto en el desarrollo de las ciencias experimentales.

La teoría de los errores de las observaciones

Entre finales del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX, una de las cuestiones que ocupa a los matemáticos es la de cómo conciliar los resultados obtenidos a partir de observaciones de un mismo fenómeno físico, pero realizadas bajo diferentes condiciones y con diferentes instrumentos de medida. Este problema se plantea de una forma muy nítida en las observaciones de los astrónomos, pues la variedad de situaciones concretas en que se efectúa el trabajo de medición da origen a resultados ligeramente divergentes, planteando el problema de saber cuál de ellos es el más correcto. La distancia exacta a la que se encuentra un astro o un cometa es un dato científico que no puede ser confirmado empíricamente, porque cada estimación depende de las circunstancias en que haya sido realizada la medición. Desde un punto de vista conceptual, las discrepancias son interpretadas como pequeños errores (o residuos) de las observaciones en relación a la distancia física real. Así, la distribución de los errores es analizada como la diferencia entre un conjunto de observaciones empíricas y el verdadero valor, dando origen al estudio de una clase muy particular de problemas, que podemos denominar como «distribuciones estadísticas de procesos imperfectos de replicación»: las sucesivas mediciones de un mismo objeto físico son tratadas como resultados independientes entre sí, como si fueran un conjunto de marcas de un juego de tiro al blanco, cuya «diana» nos fuera inicialmente desconocida. Para tratar con la incertidumbre, los matemáticos se vuelven hacia el cálculo de probabilidades y se

esfuerzan por encontrar funciones capaces de determinar la probabilidad de que un error esté comprendido entre los valores de la distribución, x y x+dx, determinando así el grado de confianza que se le puede atribuir a las observaciones que están situadas en un determinado intervalo.

En astronomía, la práctica corriente, desde finales del siglo XVIII, consiste en considerar la media aritmética como la mejor aproximación al verdadero valor. La conversión de este postulado intuitivo y psicológico en una hipótesis matemática fue sistematizada por primera vez, en la década de 1780, por Pierre Simon Laplace, quien elabora una síntesis de las propuestas anteriores al tiempo que propone sus propias hipótesis. El objetivo consiste en describir, en términos de cálculo de probabilidades, las características que debe tener la distribución ideal de los errores. Laplace parte de la idea de que la media es la mejor solución y procura justificar a posteriori esta decisión en función de aquello que la «media debe ser», es decir, en términos de optimización. En otras palabras, esta media ideal corresponde al valor capaz de minimizar la suma de los errores a evitar; al valor que divide el área de la curva de probabilidades en dos parte iguales; al valor que hace la suma de los errores positivos igual a la suma de los errores negativos; al valor que es el instante más probable del fenómeno; al valor correspondiente al punto en el cual una ordenada pasa por el centro del área de la curva de distribución. Minimización, equiprobabilidad, simetría y continuidad pasan a ser las propiedades teóricas a las que debe obedecer la distribución de los errores [FAREBROTHER 1999, p. 69-75]. Sin embargo, a pesar de los intentos llevados a cabo por el matemático francés para encontrar la forma más adecuada de representar esas propiedades[1], la cuestión permanece en abierto hasta que el matemático Karl Friedrich Gauss consigue derivar una ecuación ajustada al tipo de problemas con los que los astrónomos se encuentran. Con este descubrimiento se vuelve una página de la historia de la ciencia: gracias a él, los investigadores pasan a disponer de una distribución con dos parámetros que conduce a la media aritmética como la estimación del verdadero valor. La distribución de los errores se representa a través de las densidades bivariadas de una curva en forma de campana, con una distribución simétrica en torno a la media, en la que la probabilidad del error tiende a 0 a medida que la magnitud de ese error aumenta (figura 1). Denominada «curva de Gauss» y, más tarde, «curva normal, esta distribución tiene la ventaja de proporcionar un modelo simple de ajuste de los errores de las observaciones. Además, los cálculos son realizados fácilmente utilizando la varianza como medida de precisión de las observaciones: en la ecuación de Gauss, $f(\Delta) = (h/\sqrt{p})\ e^{-h_\Delta_}$, que pasará a ser conocida como la distribución exponencial de la curva en «forma de campana», «curva de Gauss» o curva «normal», el símbolo «*e*» corresponde al logaritmo natural, mientras que «*h*» se denomina «medida de precisión de las observaciones».

Dado que $h = 1/(_\sqrt{2})$, cuanto mayor es este parámetro más reducida es la variabilidad, lo que equivale a tomar la variabilidad como indicador directo de la extensión de los errores de las observaciones. Éste es, tal vez, el elemento más original e innovador de la aportación de Gauss, que justifica su éxito en la difusión y aplicación del método estadístico a las diferentes disciplinas científicas, pues se traduce en la incorporación de procedimientos de verificación de las observaciones empíricas: el parámetro «*h*» hace posible la integración de metaconocimiento en la descripción de fenómenos del mundo natural.

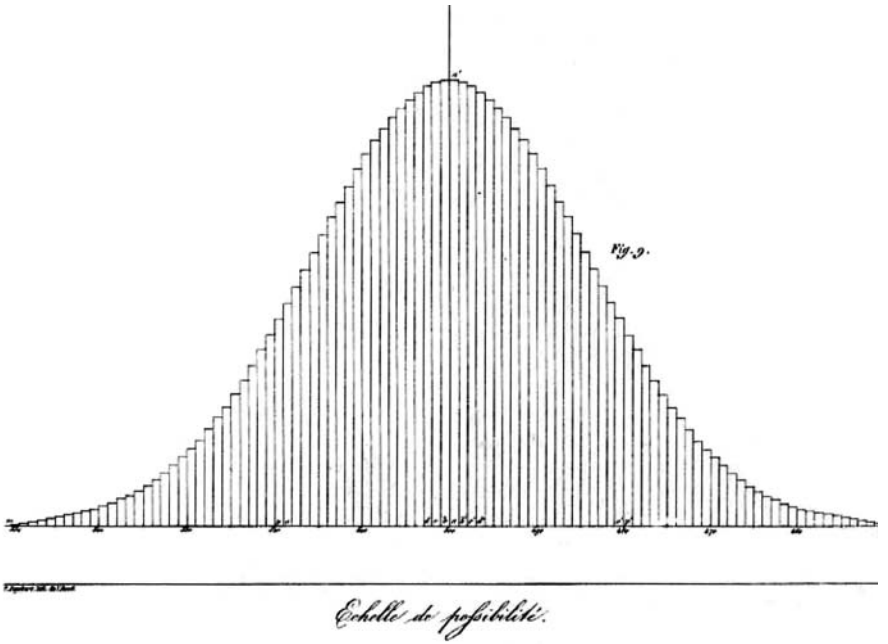

Figura 1: *La curva en forma de campana.*

Fuente: reproducción de la primera representación visual conocida de la curva en forma de campana o curva de Gauss. QUETELET [1849]

Un segundo descubrimiento, igualmente importante para la consolidación de la teoría de los errores, tiene lugar entre 1794 y 1805, y da origen a un debate inflamado entre Gauss y el matemático francés Legendre [STIGLER, 1981, p. 465-474; PLACKETT, 1972, p. 239-251], quienes reclaman, cada uno para sí,

la primacía del hallazgo. En efecto, por vías diferentes, habían llegado a la demostración de que la media aritmética era la mejor solución para minimizar la suma de los cuadrados de los residuos (esto es, la diferencia agregada entre los valores observados y el valor «verdadero»). Conocido como el principio de los mínimos cuadrados, este principio rápidamente se transforma en un método o una técnica de cálculo que permite innumerables aplicaciones: a mediados de siglo ya se utiliza en fórmulas para la estimación de interpolaciones y extrapolaciones, para ponderar observaciones discordantes, para redondear números, para estimar la medida de precisión «*h*» y para estimar el error probable «*r*». Además, los mínimos cuadrados ofrecen una justificación adicional de la hipótesis de que la media es el valor más probable de una serie de observaciones independientes. Gracias a su simplicidad, la teoría de los errores va a identificarse progresivamente con este abordaje concreto, generalizando la práctica de calcular el cuadrado de los residuos, en una columna separada, y de encontrar, después, el total.

El aspecto más interesante es que estas técnicas de análisis estadístico sirven para observar y certificar no sólo los resultados de las mediciones, sino la propia conducta de los investigadores. Según Olesko [1995, p. 103-134 y también WALKER, 1975], los términos «*Genauigkeit*» *y* «*Präzision*» entran en el vocabulario científico alemán para referirse a mediciones bastante aproximadas, obtenidas con instrumentos científicos y repetidas tantas veces como para justificar la aplicación del método de los mínimos cuadrados. Paralelamente se desarrolla de idea de protocolo de experimentación, derivado de la necesidad de que el observador ejecute cada operación con el mismo nivel de rigor. En francés, la expresión «module de précision» o «module de convergence» designa igualmente la calidad de mediciones representadas por la constante «*h*» de la ecuación de Gauss.

Con las facilidades de cálculo introducidas por el método de los mínimos cuadrados (un aspecto práctico importante es que este método no requiere el uso de logaritmos, simplificando así el trabajo de estimación manual) los científicos pasan a recurrir no sólo a la constante «*h*», sino también a otra medida que rápidamente se torna popular en los medios académicos: el error probable («*r*») o «valeur médiane de l'écart», en la denominación francesa. Introducido por el astrónomo Bessel en 1816 [2], el error probable expresa la desviación de las observaciones en relación a la media, de forma tal que se espera que la mitad de los errores sean inferiores al valor del error probable y la otra mitad sean superiores. En otras palabras, en una distribución absolutamente simétrica, el error probable corresponde al intervalo semicuartílico _(Q3-Q1). También aquí existe una representación de metaconocimiento sobre observaciones futuras, una vez que el observador es informado del momento de la distribución en que la probabilidad

de cometer un error superior al valor del error probable es igual a la probabilidad de cometer un error inferior. Se establece así un efecto recursivo entre las acciones del presente y los resultados del futuro, según la cual la información sobre la probabilidad posterior de los errores conduce a la prevención anterior. Así, la presencia de errores probables («*r*») muy grandes o de niveles de precisión («*h*») anormalmente bajos, pasa a ser la señal de que algo ha fallado en la experiencia: la anomalía puede haber sido provocada por la presencia de un observador parcial, alterado o poco cualificado; por el cambio de las condiciones externas durante la fase de registro de las observaciones; por la existencia de defectos en los instrumentos científicos; por prácticas irregulares de manipulación de los mismos, etc.[3] Este tipo de problemas debe ser prevenido anticipadamente, lo que implica transformar la idea de error accidental, de causas indeterminadas, en un intento positivo de objetivar lo desconocido y de combatir las diversas posibles fuentes de error. El propio comportamiento del científico es objeto de una cierta estandarización, en la medida en que se entiende que debe encontrarse en un estado «normal», desde el punto de vista psicológico, y que no debe tener un interés personal en los resultados de la investigación: [WELD, 1916, p. 7-11]. De este modo, la formulación matemática del concepto de error lleva al ideal de la «objetividad» científica, entendida como desiderátum de una observación enteramente desinteresada y libre desde el punto de vista del observador: en el límite, de una observación sin sujeto.

Lo que inicialmente constituía un parámetro descriptivo para comprender y analizar el agrupamiento de las observaciones en torno a una «diana»/valor medio se transforma, mediante la repetición de prácticas científicas y la discusión teórica, en un principio normativo, en un guión de conducta para realizar experiencias y en un test de la capacidad personal del observador. Swijtink [1987, p. 261-286] caracteriza esta fase como un período en que todos los aspectos de la experimentación son considerados proposicionales, de forma a extraer la información relevante sin el juicio personal del investigador. La minimización de la variabilidad de las observaciones se transforma en un ideal normativo: la precisión. De acuerdo con este autor, la aparición en Europa de una literatura especializada sobre temas como la construcción de instrumentos científicos y su progresivo perfeccionamiento gracias a la fabricación de partes ajustables, que permiten un control de posiciones relativas en el momento de las mediciones, reflejan bien este ideal de objetividad.

El énfasis en el detalle claro, riguroso y exhaustivo de las circunstancias que rodean una experiencia determinada es la manera de asegurar la estabilidad del objeto de conocimiento, la estandarización del contexto, el autocontrol de la sub-

jetividad residual. La inducción estadística tiene en vista la sincronización de los protocolos de observación y la precisión de la media aritmética se convierte en el medio indicado para conseguirlo: una técnica capaz de crear equivalencias normativas entre observaciones separadas en el espacio y en el tiempo.

La incorporación de la teoría de los errores y del método de los mínimos cuadrados en las rutinas científicas se acompaña de dos fenómenos: por un lado la expansión hacia nuevas fronteras disciplinares, entrando en los dominios de la química (determinación de los pesos de los átomos), de la física (constantes de las ecuaciones de los físicos franceses) y de la física social o sociología (análisis de las estadísticas morales del delito y de los datos antropométricos), aparte de la astronomía y de la geodesia [PORTER, 1986; LAZARSFELD, 1961 p. 277-333; OLESKO, 1987, p. 109-110; KRUGER, 1987, p. 373-378]; por otro, la consolidación de una perspectiva filosófica que desconfía de la especulación teórica, considerada como una incubadora de prejuicios y de errores, y que favorece el análisis objetivo basado en hechos, en datos, en observaciones controladas. «No son los principios los que dan origen a los hechos, sino los hechos los que dan origen a los principios» —dirá el pensador francés Dufau, quien no se cohíbe a la hora de criticar la economía política clásica por basarse en ideas sin fundamentación empírica [DUFAU, 1866, p. 21]—. El matemático y astrónomo John W. Herschel es tal vez el exponente mayor de esta epistemología inductiva de la ciencia en la Europa decimonónica, una epistemología que combina razón y observación: «una vez que hemos reconocido que la experiencia es la fuente de todo el conocimiento de la naturaleza, al estudiarla debemos desembarazarnos de nuestros prejuicios o, al menos, suspenderlos, considerando prematura cualquier noción previa sobre lo que debe ser o lo que puede ser en el orden de la naturaleza. Es necesario que nos desembaracemos de todo prejuicio, venga de donde venga, limitándonos a los hechos y a las consecuencias lógicas susceptibles de ser deducidas rigurosamente»[4].

Hay que notar, sin embargo, que a pesar de la aceptación y de la enorme difusión de las ideas y técnicas de Gauss, Laplace y Legendre en los medios científicos [HALD, 1998, p. 493-496], el postulado de que la media aritmética es el valor más probable y la hipótesis de la distribución de los errores en la curva normal, continúan siendo asuntos controvertidos, discutidos y revisados: bajo esta óptica cobra toda su luz el hecho de que nada menos que dieciocho demostraciones diferentes del método de los mínimos cuadrados fueran sucesivamente expuestas y defendidas a lo largo del siglo XIX [KNOBLOCH, 1992, p. 253-279].

Astrónomos y militares: la teoría de los errores en Portugal

Los primeros en introducir en el medio académico portugués el análisis matemático de la distribución de los errores fueron los astrónomos. Una tal asimilación a partir de la matriz de origen significa que la teoría llega impregnada de una práctica disciplinar y de un método auxiliar de conocimiento. Como vimos, su utilidad consiste en estimar el grado de confianza que es posible atribuir a las diferentes observaciones astronómicas. No obstante, cabe matizar la afirmación anterior añadiendo que, a finales del siglo XIX, la distinción profesional entre astrónomos y matemáticos tiene fronteras muy tenues, en la medida en que la astronomía era considerada una rama aplicada de la física y de las matemáticas. Valga como ejemplo el hecho de que, en aquella época, para ser admitidos en el Observatorio Astronómico de Lisboa los candidatos debían haber terminado sus estudios universitarios de ciencias físicas y matemáticas. Es precisamente en este observatorio donde funciona el más avanzado sistema de medición y de estadística de la segunda mitad del siglo XIX, dirigido por uno de los miembros más brillantes de la comunidad científica portuguesa, Fradesso da Silveira. Una de las innovaciones destacadas es la introducción, en 1865, de un servicio de previsión meteorológica, con la publicación de un boletín del tiempo probable para Lisboa [FERREIRA, 1937, p. 221-252]. Esta innovación tiene lugar poco después del establecimiento de un sistema telegráfico de transmisión de datos sobre el estado del clima en Europa, y apenas dieciséis años después de que un sistema similar entrara en funcionamiento en Estados Unidos.

En el medio académico, la difusión del estudio de las probabilidades tiene su epicentro en Lisboa, primero en la Academia dos Guardas de Marinha y, posteriormente, en la Escuela Politécnica. A partir de 1865, las probabilidades dejan de ser vistas como una rama del Cálculo Infinitesimal para ser integradas en la asignatura de Astronomía y Geodesia [OLIVEIRA, 1995, p. 121]. La proximidad entre las dos disciplinas se revela mutuamente benéfica y conoce una suerte de confirmación en el plan de estudios aprobado en 1887 para la Facultad de Matemáticas de la Universidad de Coimbra: el tema de las probabilidades queda así definitivamente asociado a la Astronomía Física en una asignatura de cuarto curso y pasa a contemplar por primera vez el análisis de las distribuciones de probabilidad, esto es, la «teoría de los errores». El catedrático de la asignatura es, de hecho, el primero en publicar una «Introdução à theoria dos erros das observações». Se llamaba Sidónio Paes y por entonces apenas era conocido en los círculos de alumnos y de profesores[5], aunque unos años más tarde se convertiría en una de las figuras más amadas y más detestadas de la historia portuguesa como Presidente de la República populista, carismático y adepto de la centralización presidencial del poder ejecutivo (1918).

Al mismo tiempo se producen también nuevos desarrollos en la Escuela Politécnica de Lisboa. Llamado a impartir la asignatura de probabilidades, el capitán de ingenieros Pedro José da Cunha, antiguo alumno de la Politécnica, reformula el programa en 1898, integrando la teoría de los errores y el método de los mínimos cuadrados en la materia lectiva, familiarizando así a los alumnos con métodos de análisis que ya son conocidos en el Observatorio Astronómico anexo a la Escuela. A una notable capacidad de innovación, el capitán de ingenieros aúna una maestría fuera de lo común en el abordaje de temas matemáticos que lo lleva a conquistar, en poco tiempo, una sólida reputación en el seno de la comunidad científica. Figura de referencia para los matemáticos, Pedro José da Cunha conoce igualmente una ascensión fulgurante en el Observatorio Astronómico, siendo nombrado director del mismo en noviembre de 1905 [6].

Podemos concluir que la incubación científica se circunscribe al dominio original de aplicación: el análisis de las distribuciones de probabilidad y la teoría de los errores queda asociado a la astronomía, lo que revela que la teoría pura entra de la mano de la teoría aplicada. En los años siguientes, se asiste sin embargo a una transposición de estos conocimientos a nuevos campos de experimentación, en una suerte de desdoblamiento científico que va a ser liderado, en primera instancia, por los hombres de ciencia del ejército y de la marina (cabe recordar aquí que tanto la Escuela Politécnica de Lisboa como la Facultad de Matemáticas de Coimbra forman regularmente a oficiales del ejército y que la primera de esas instituciones está habilitada para formar funcionarios para ingreso en la función pública por Decreto de 17 de agosto de 1870).

Un primer desarrollo tiene lugar en la Marina, motivado por la aplicación del método de los mínimos cuadrados de Legendre /Gauss para estimar los errores residuales derivados de la medición de la marcha de los barcos. En aquella época se usaban cronómetros de diferentes tamaños y calidades, extremadamente sensibles a factores como la variación de la temperatura, la condensación de aceites y otras causas accidentales. El objetivo consiste en permitir la aplicación de pesos capaces de «dar una medida del grado de confianza de las indicaciones de los cronómetros utilizados a bordo»[7]; esto es, hallar un modelo que permita ajustar los errores de las mediciones. Una vez conseguida esa estimación se hace posible comparar la precisión recíproca de los diferentes instrumentos[8].

Un segundo desarrollo, igualmente relevante, es la aplicación de la teoría de las probabilidades a los problemas de cálculo de tiro en artillería. También en este caso se producen errores provocados por la imperfección de las baterías y de los hombres que las manejan: «las armas de fuego, desde el punto de vista del tiro, son instrumentos de medida». La adopción del modelo matemático de Laplace

/Gauss permite que el cañón pueda ser pensado por analogía con el telescopio. Merced a este desplazamiento, el punto de vista militar tiende a centrarse en la incertidumbre que antecede el momento del disparo. Es importante subrayar que hay dos diferencias que plantean serias dudas sobre la pertinencia de la extensión de la teoría de los errores a este dominio militar: en primer lugar, los artilleros pueden confirmar si han acertado o han errado el blanco y, por lo tanto, tienen una noción empírica del «verdadero valor» del tiro, al contrario de lo que pasa con los astrónomos; en segundo lugar, debido al posicionamiento físico en el terreno y a la rigidez del mecanismo del cañón, los disparos efectuados no son verdaderamente independientes entre sí y, por lo tanto, los requisitos subyacentes al modelo de distribución de los errores de las observaciones no se verifican. Borges de Sequeira, el matemático y militar autor del texto, justifica la idea de que cada tiro es una «observación» independiente en términos de semejanza de las causas: «las causas de la dispersión son las causas de error y esas causas pueden agruparse como en los instrumentos de medida» [SEQUEIRA, 1905, p. 160].

Los dominios de aplicación convergen en la astronomía, en la navegación náutica y en la artillería. Al margen de este círculo de disciplinas no existen, de momento, nuevas tentativas para encontrar utilidad a los conceptos y métodos de la estadística matemática. La teoría de los errores parece orientada a representar una clase muy particular de problemas, plenamente ajustada al tipo de cuestiones que pretende resolver, en la medida en que resulta razonable suponer que los valores registrados en las actividades de medición se reparten por pequeñas diferencias, concentradas alrededor de los valores centrales. El presupuesto de la normalidad de la distribución se aplica a un campo de análisis en el que no cabe esperar grandes alteraciones provocadas por valores extremos (en principio, las mediciones «aberrantes» pueden ser descartadas, a pesar de que este asunto sea controvertido) ni tendencias a la asimetría de las desviaciones. Como afirma el matemático Sidónio Pais, se supone que se haya tenido el mayor cuidado en la «indagación de las causas de error, en la determinación de sus efectos y en la corrección de las observaciones» [PAES, 1898, p. 6].

Cuando la teoría de los errores llega a Portugal, su repercusión directa se limita a algunos segmentos de la comunidad científica: matemáticos, astrónomos y militares. Esto significa que, a lo largo del siglo XIX, la ciencia no atraviesa en este país un período de maduración de tradiciones inductivas guiadas por la búsqueda de la objetividad; de ahí la práctica inexistencia de construcción de bases de datos con observaciones en primera mano o de depuración de protocolos de experimentación. La vertiente especulativa se desarrolló sin las bases experimentales de la precisión normativa y sin los procedimientos de verificación incorporados en el

trabajo «de laboratorio». Dos consecuencias se derivan de este tipo de evolución: en primer lugar, el carácter tardío de la asimilación y de la práctica de la teoría de los errores se tradujo en la utilización de los métodos de cálculo de probabilidades a efectos únicamente técnicos, entendidos como procedimientos de corrección de mediciones, pero sin desarrollos filosóficos o epistémicos importantes. En este marco, la imagen del hombre de ciencia y del científico no puede destacarse como teórico de la objetividad. En segundo lugar, la teoría de los errores no adquiere «momentum», ni adquire una entidad propia como visión particular del mundo, sino que desde el principio es asimilada sincréticamente a otras perspectivas, y esto porque cuando empieza a difundirse ya existen otros modos de ver los fenómenos naturales y otras teorías, más recientes, para las que la ciencia no se hace con observaciones, sino por medio de representaciones conceptuales de los objetos. De este modo, el realismo de la teoría de los errores se ve obligado a compartir el espacio académico con el constructivismo emergente de la biología.

De la biología a la eugenesia

A finales del siglo XIX se produce una profunda renovación de los métodos de análisis. Esta renovación está asociada al desarrollo de áreas científicas que ganan proyección y consiguen consolidar cuerpos disciplinares equipados con nuevas teorías, metodologías y técnicas de análisis bajo la influencia de fondo de la teoría darwiniana de la evolución de las especies. El principio de la selección natural se discute en dominios científicos tan variados como la antropología física, la botánica, la biología o la zoología. Y, aparte del interés despertado por las posibilidades de aplicación de la perspectiva de Darwin en esta o aquella área, despuntan igualmente agendas transversales, lenguajes convergentes y metodologías con puentes de contacto entre sí. Las matemáticas deben hacer frente al reto científico de ofrecer instrumentos formales destinados a clases bien definidas de problemas: representar diferencias entre las especies; representar la transformación de los caracteres individuales de los miembros de una determinada especie; representar los mecanismos particulares de transmisión y de herencia.

Al centrar la investigación científica en el estudio de la homogeneidad y de la diversidad, el darwinismo muestra que las taxonomías tienen una historia. Si los caracteres de una especie botánica, zoológica o humana parecen invariables en un determinado instante, en realidad esos caracteres son el producto de transformaciones modeladas por el tiempo y el espacio. La evolución resulta de la variación y de la selección competitiva.

Relacionar las características de las especies con las características de los individuos plantea un reto para el que la teoría de las probabilidades vigente no ofrece

grandes soluciones debido a los presupuestos del modelo de distribución normal y de la variación simétrica alrededor de la media. La insistencia en el centro de la distribución no es adecuada ni para el tratamiento estadístico de las diferencias individuales, ni para las condiciones de repetición de hechos estadísticos raros: los temas darwinianos implican una atención no sólo a los valores medios normales, sino también a los casos particulares atípicos, a las desviaciones salientes y a todo aquello que es excepcional en un determinado conjunto. Por otro lado, los científicos empiezan a darse cuenta de que ciertas mediciones de la biología y de la economía presentan notables desviaciones en relación a la forma normal, de lo se deduce la importancia que reviste poder estimar la dirección y el volumen de las mismas[9].

Eusébio Tamagnini, profesor de la Universidad de Coimbra y miembro fundador de la *Sociedade Eugénica,* es el autor que introduce en Portugal el estudio de las «curvas anormales» y de la estadística de la variación, aplicando estos conceptos a la descripción de los efectos de la temperatura y de la riqueza del suelo sobre el desarrollo de las plantas, o sea, sobre la variación del número de estambres, de flores y de estaminoides[10]. Para ilustrar adecuadamente los diferentes ejemplos, emplea la «familia» de curvas asimétricas estudiadas por el matemático Karl Pearson, en 1895. El objetivo consiste en proporcionar un sistema capaz de describir las asimetrías tanto a la izquierda como a la derecha de una curva de frecuencias, a través de cuatro parámetros, situados en diferentes momentos de la distribución: la media, la desviación típica, la simetría y la curtosis. Estos cuatro parámetros permiten distinguir los diferentes tipos de curvas y seleccionar aquélla que mejor se ajusta a los datos estadísticos [HALD, 1998, p. 648-664]. Si las probabilidades de la distribución de la teoría de los errores conducen a las regularidades de las tendencias centrales, las curvas asimétricas introducen la representación del universo como sistema de dispersión. El propio Tamagnini nos ofrece ejemplos del tipo de datos derivados de mediciones sistemáticas de plantas que corresponden a «curvas anormales», bautizando con el nombre de «fitometría» (medición de las plantas) la nueva disciplina de conocimiento. Para el autor, la ley de las desviaciones desempeña en la botánica un papel similar al de la ley de los errores en la astronomía:

> *«… la ley de las probabilidades de los errores funciona, en biología, como la ley de la frecuencia de las desviaciones e indica cómo se reparte un número suficientemente grande de individuos sobre los diferentes valores de un carácter que varía al azar (…) podemos [así] llegar a la determinación de la ley de la frecuencia de las desviaciones, equivalente a la ley de las probabilidades de los errores de observación»* [TAMAGNINI, 1904, p. 366].

En verdad, la ley de las desviaciones implica un cambio epistémico profundo. El punto de vista de la variación está asociado a otra teoría de la ciencia porque los números que identifican las funciones de distribución no son del mismo tipo que

los números-mediciones de la teoría de los errores: la media, la desviación típica, la simetría y la curtosis no pueden ser observadas directamente, aunque sí inferidas a partir de las observaciones. Constituyen parámetros, cuya etimología griega significa «casi mediciones» correspondiendo a construcciones mentales destinadas a sintetizar datos empíricos, sin la preocupación de retratar observaciones sometidas a causas constantes. A partir del momento en que la «realidad» de la ciencia se desplaza de las observaciones a instrumentos conceptuales como los «parámetros», se abre el camino a una visión constructivista del conocimiento y del saber.

Eusébio Tamagnini publica su estudio sobre la fitometría en 1904, es decir, prácticamente en el mismo momento en que la teoría de los errores de las observaciones alcanza el auge de su difusión en Portugal[11]. El trabajo, profundamente innovador y actualizado, es el producto de una orientación personal, siendo presentado en el marco de una tesis de licenciatura, un poco al margen de las tendencias dominantes de la investigación. De hecho, Tamagnini seguirá su carrera académica en la Facultad de Filosofía de Coimbra y no en la de Facultad de Matemáticas, manteniendo una cierta rivalidad con el catedrático de la asignatura de probabilidades, Sidónio Pais, uno de los precursores de la teoría de los errores [GOMES,1990, p. 29]. No deja de ser curiosa esta rivalidad, fundada en concepciones sociales y políticas diferentes, y que opone al introductor de la teoría de los errores (Sidónio Pais, republicano afecto al ala moderada del Partido Unionista) y al introductor de la teoría de la variación (Tamagnini, partidario de los sectores más conservadores y nacionalistas).

En un esbozo breve como éste se puede decir que Eusébio Tamagnini es el científico portugués que, durante el siglo XX, mejor representa el entusiasmo que experimenta la comunidad científica internacional por la fiebre de las mediciones. Bajo el impulso de la teoría darwiniana, las matemáticas se convierten en el elemento clave para desvelar los secretos de todas las cosas vivas, inanimadas y muertas. En la vasta superficie del planeta se ocultan innumerables patrones repetidos que esperan su turno para ser desvelados y los números se transforman en un lenguaje adecuado para describir todo aquello que no es inmediatamente perceptible por los sentidos. En las dos primeras décadas del siglo XX, los correspondientes de la Revista Biométrica se aventuran en las selvas africanas para medir las tibias de los nativos, viajan a las selvas húmedas de América Central para estimar las dimensiones de pájaros exóticos y profanan antiguos cementerios para medir la capacidad craneana de los cadáveres. La actividad científica se esfuerza en elaborar un mapa de las cantidades latentes en el mundo, dejándose impregnar por las obsesiones de los coleccionistas.

En pleno *Estado Novo* (régimen político portugués, de naturaleza autoritaria, que transcurre entre 1933 y 1974, y que fue derribado por la Revolución de los Claveles), Tamagnigni retoma los estudios sobre la variación, pero esta vez para analizar los caracteres descriptivos de las «razas blancas» en relación a elementos como la estructura craneal, el índice facial y la pigmentación de la piel [TAMAGNINI, 1936, p. 119]. En este ensayo, las características relativas al color de la piel, del pelo y de los ojos de los habitantes de las diversas regiones portuguesas son objeto de una exhaustiva clasificación y medición.

La aparición del concepto de raza equivale al reconocimiento de que hay elementos que permanecen relativamente constantes en la evolución de las especies. Los mecanismos de la selección competitiva y de la herencia actúan, ya no sobre individuos, sino sobre «tipos» biológicos determinados que reúnen las mismas características físicas, fisiológicas y psíquicas. Tamagnini sigue en este punto la clasificación socio-antropológica de Georges Lapouge. Según este teórico, exponente del darwinismo francés, existen tres razas europeas: la raza aria/nórdica, la mediterránea y la alpina. Cada una de ellas se caracteriza por índices cefálicos y caracteres físicos propios, lo que significa que las clasificaciones consagradas en los tipos humanos de la antropología física (ver el capítulo «La estadística del cuerpo») no son abandonadas, sino más bien incorporadas en un esquema más general. La vinculación entre raza y antropometría tiene como presupuesto de partida un intento de demostrar que las razas superiores, como la aria, están constituidas por una mayoría de dolicocéfalos «ambiciosos, enérgicos y valientes» [HAWKINS, 1997, p. 193-1997; CLARK, 1984, p.145-151].

En ese contexto de fondo, el matemático portugués, convertido primero a la botánica, luego a la criminología, más tarde a la antropología física y por último a la eugenesia, se plantea el reto de averiguar en qué medida los ojos azules o castaños (los primeros asociados al tipo dolicocéfalo, los segundos al tipo braquicéfalo), la tez rosada o pálida, el pelo castaño, rubio o moreno se distribuyen aleatoriamente por todo el país o —hipótesis contraria— constituyen rasgos suficientemente diferenciados como para distinguir las poblaciones las regiones portuguesas del Algarve de las del Alentejo, la Estremadura o las Beiras. El coeficiente de contingencia, formalizado por Karl Pearson, sirve de matriz para redefinir el problema en términos de test de una hipótesis: ¿las gentes que habitan las diferentes regiones portuguesas pueden ser consideradas como muestras independientes de una única población (coeficiente de contingencia igual a 0), o hay una distribución geográfica determinada para el color de los ojos, del pelo y de la piel y, por lo tanto, los grupos locales no son muestras fortuitas de un agregado más vasto, sino grupos étnicamente diferenciados en sus atributos (coeficien-

te de contingencia significativamente superior a 0)? El análisis estadístico confirma la última hipótesis, lo que permite al autor establecer una imagen del país como mosaico antropológico, dotado de regiones de dominante mediterránea y regiones donde predomina el elemento nórdico y el elemento alpino. La conclusión apunta al papel que históricamente ha jugado Portugal como crisol de culturas, en la medida en que los principales tipos étnicos de las poblaciones europeas están presentes en el país[12].

En un momento en que el concepto de raza es utilizado como un argumento legitimador de la ideología nazi y que el combate por la supervivencia de la nación alemana se materializa en programas de esterilización, la demostración de que el tipo latino o mediterráneo esconde, a fin de cuentas, una gran diversidad de caracteres morfológicos resulta cuando menos tranquilizadora. Portugal acaba por sintetizar una etnografía europea en miniatura, con regiones más latinizadas, otras más alpinas e incluso otras con características nórdicas. A la luz de la actualidad geopolítica, el país se define como un complejo multirracial.

La teoría en segunda mano: las ciencias sociales

A comienzos del siglo XX, la estadística matemática empieza a ser discutida por pensadores portugueses que se ocupan de la enseñanza universitaria de disciplinas de ciencias sociales (en aquella época englobadas bajo el nombre de «economía política»). En general, se descarta la posibilidad de recurrir al cálculo en estos dominios, argumentándose que las probabilidades no son aplicables a los hechos sociales, sino únicamente a los objetos del mundo físico y a las ciencias naturales. Lo más curioso es que los argumentos que se presentan contra la utilidad de las matemáticas son, en realidad, argumentos contra la aplicación de la teoría de los errores. Por procesos intrincados e indirectos, la distribución de Gauss y, sobre todo, las ideas de Laplace, terminan influyendo de esta forma las representaciones del hombre y de la sociedad.

Se debe al académico Adrião Pereira Forjaz Sampaio la decisión pionera de incluir la estadística en el estudio de la economía política en el año 1839, familiarizando a los alumnos de derecho con estas materias. Con la reforma de la enseñanza superior, decretada por la República en 1911, aumenta el interés académico por estas materias y los alumnos empiezan a aprender los grandes temas de la administración, de la riqueza, de la propiedad, de la circulación monetaria y del trabajo, además de algunos rudimentos de estadística, que ocupan tres o cuatro lecciones, generalmente impartidas al final del año lectivo. Los cursos de Ingeniería del Instituto Superior Técnico, del Instituto Superior de Comercio de

Lisboa y del Instituto Superior de Comercio de Oporto consagran en términos curriculares la asignatura de «economía política y estadística», al mismo tiempo que las Facultades de Derecho de Lisboa y de Coimbra desdoblan la «Estadística», que pasa a ser una asignatura autónoma integrada en el 2º grupo de las ciencias económicas [CAETANO, 1961, p. 11; GONÇALVES, 1998, p. 207-230; ARAÚJO, 2001, p. 40-41]. En la secuencia de esta reforma se asiste a una progresiva sedimentación de los saberes, que se manifiesta por una tendencia hacia la separación de la estadística respecto al tronco común de la «economía política» que la lleva a formar una rama propia de la literatura técnica científica. Así, en los escaparates de las librerías aparece un nuevo tipo de libro de apuntes: el manual de estadística. Los «manuales de estadística» del período republicano no tienen, sin embargo, el significado que les atribuimos hoy en día: la delimitación y el reconocimiento de saberes disciplinares propios surge como una extensión de materias de gestión y de administración, y no en el marco de las metodologías matemáticas. La mayoría de los capítulos se dedican a la clasificación y la comprobación de los hechos, a métodos de elaboración de fichas, a aclaraciones sumarias sobre el empleo de las novísimas máquinas de cálculo que funcionan por medio de la electricidad, al análisis de las publicaciones disponibles en Portugal y en el extranjero, a la crítica, en fin, de los censos y de las encuestas. Entre medias, algunas páginas abordan las «operaciones matemáticas» y la «construcción de gráficos». De lo dicho puede concluirse que un buen manual de estadística de las décadas de 1910 y 1920 debe ser capaz de enseñar todo lo que tiene que ver con el procesamiento administrativo de la información, comenzando por la recogida de datos y acabando por la presentación de resultados.

En este tipo de obras encontraremos sin duda referencias a la teoría de las probabilidades, pero no a su aplicación en el análisis de las distribuciones ni al método de los mínimos cuadrados. Según el autor de uno de los primeros Manuales de Estadística, publicado en 1917, la probabilidad es una cosa «mucho más próxima de la realidad de las ciencias físicas que de las sociales. En el mundo social, los acontecimientos tanto pueden aparecer de una manera como de otra» [SILVA, 1917, p. 139]. Esta formulación contrapone el mundo de la astronomía y de la física, regido por causas constantes, al mundo social, donde la ausencia de causas constantes, impide el razonamiento probabilístico. Si la inclinación del eje de un astro obedece invariablemente a las mismas leyes, variables como los nacimientos, matrimonios y óbitos, pueden ser influenciadas por «centenas y millares» de factores [SILVA, 1917, p. 140-141]. No poseen, por lo tanto, una identidad diferente a aquella que les atribuye el juicio subjetivo. Por esa razón, estos fenómenos varían de intensidad de un año a otro o de un siglo a otro, sin que a priori se pueda establecer una relación entre los acontecimientos verificados y los acontecimien-

tos posibles. Los acontecimientos futuros se pueden relacionar con las observaciones del pasado únicamente cuando existen causas similares que producen las mismas consecuencias, de forma que se pueda delimitar su grado de incertidumbre o de probabilidad. En cambio, los hechos demográficos, por ejemplo, pueden tener múltiples causas (guerras, hambrunas, brotes epidémicos, variaciones de la renta, mejoras de la salud pública, tradiciones socioculturales etc.) y por eso «tanto pueden aparecer de una manera como de otra». Donde no hay causas constantes que se puedan relacionar a consecuencias, no es legítimo recurrir a las frecuencias del pasado para prever las hipótesis del futuro, dado que «el éxito de un acontecimiento depende del número de factores que lo determinan» [SILVA, 1917, p. 139], y como no es posible determinar la mecánica de esos factores, la identidad de los fenómenos no pasa de ser una mera construcción humana, subjetiva e ideal.

La sociedad es una especie de urna de composición variable, en la cual el número de bolas blancas y de bolas negras se encuentra en constante mutación. En esta urna, de composición variable, ningún resultado o evento puede ser imputado a una causa determinada. Por el contrario, los fenómenos naturales poseen propiedades invariables y causas constantes como la gravedad o la fuerza de atracción de los cuerpos. El reconocimiento de que los hechos humanos son dominados por la incertidumbre es el argumento que lleva a negar la utilidad del cálculo matemático, ya sea en la acepción más débil de probabilidad de que suceda un evento (probabilidad directa), como en la acepción más fuerte de probabilidad de las causas de los eventos (probabilidad inversa). Globalmente considerados, todos los autores de los manuales de estadística publicados en Portugal a comienzos del siglo XX, niegan la pertinencia de la aplicación del método probabilístico a las disciplinas de economía política y de economía social. Una actitud que, cabe subrayar aquí, implica separar la posibilidad de la causalidad y contribuye a delimitar las ciencias del hombre como un campo disciplinar específico. Cae así por tierra la idea de aplicar «a las ciencias políticas y morales el método fundado en la observación y en el cálculo, método que tan buenos resultados ha dado en las ciencias naturales»[13]. En ese momento, por el contrario, se piensa que los objetos del mundo físico son distintos de los objetos del mundo humano y, por lo tanto, la traslación al universo de la política y de las ciencias morales de los descubrimientos de la teoría de los errores o método de los mínimos cuadrados no genera el más mínimo beneficio. La ambición de unificar las diversas ramas de saber en un tronco común llamado «ciencias de observación» es puesta a un lado y, con ella, todo un programa de investigación.

Laplace, Fourier y Quetelet fueron los pensadores que, en la primera mitad del siglo XIX, más lejos llevaron ese programa, constituyendo una nueva disciplina de

estudio conocida como «estadística moral» y, posteriormente, «física social». La transposición de la teoría de los errores a dominios tan diversos como las mediciones físicas del hombre (antropometría), el análisis de los hechos demográficos y las estadísticas criminales fue llevada a cabo a partir de la aplicación de la ley de los grandes números y de la idea de que «al observar los fenómenos morales de forma masiva, entran en el mismo orden que los fenómenos naturales», pues «cuanto mayor es el número de individuos observados, en mayor medida sus particularidades individuales, ya sean físicas o morales, desaparecen y pasa a predominar la serie de hechos más generales, en virtud de la cual la sociedad existe y se conserva» [14]. De la misma forma que el aumento del número de tiradas de una urna estabiliza la *ratio* entre la frecuencia de bolas negras y de bolas blancas, también la consideración de grandes números, en las estadísticas de hechos sociales, hace aparecer regularidades estables. Estas regularidades son interpretadas como prueba de que existen causas constantes que funcionan a nivel de los agregados humanos.

Este tipo de desarrollos teóricos tuvo poco alcance en Portugal: pensadores como Charles Fourier o Adolphe Quetelet eran prácticamente desconocidos y sus ideas llegaban, cuando era el caso, en segunda mano, citadas indirectamente por comentadores y críticos. Los manuales de estadística publicados difunden precisamente los saberes en segunda mano, inferidos a partir de los autores de la escuela histórica alemana, de la escuela sociológica francesa y de la escuela médica francesa, que desconfían de la cuantificación de los fenómenos humanos y que se desmarcan de la atribución de un sentido casi determinista a las regularidades estadísticas, de la causalidad holística y mecánica de los fenómenos sociales, de lo que consideran un enfoque que implica la negación de la responsabilidad de la acción individual. El principio filosófico del «libre albedrío» está en la base de esta reacción contra la idea de que las leyes de la sociedad se imponen a los individuos [OBERSCHALL, 1965; HACKING, 1983, 555-475; GORGES, 1991, 316-339; LINDENFELD, 1997].

Arte y ciencia

En cierto modo, la teoría de los errores puede ser vista como un contrapunto a las concepciones románticas. Durante el siglo en que la literatura y las artes profundizan en el ideal de inserción del espíritu del hombre en la naturaleza, y de fusión de la subjetividad y de la objetividad en los modos de ver el mundo, las ciencias recorren el camino inverso: con la operacionalización matemática del concepto de error, las prácticas de «objetividad» científica adquieren un contenido institucional y orientado en función de reglas. Los detalles de la experiencia se hacen pro-

posicionales con vistas a liberar la observación del punto de vista del observador; la minimización de la variabilidad de los datos se transforma en la minimización de la variabilidad de los comportamientos individuales y en la normalización de las prácticas de los científicos. Mientras la ciencia se esfuerza en eliminar el sujeto de observación, la literatura insiste en el lugar de ese sujeto como un lugar único, desde donde el observador tiene el poder de fabricar el mundo.

La cultura de la objetividad y la cultura de la subjetividad no son, en cualquier caso, sino polos bipolares entre los que encontramos una infinita graduación de actitudes y de prácticas intermedias. Las páginas anteriores han querido llamar la atención hacia el hecho de que uno de estos polos haya estado ausente de la cultura portuguesa o, por lo menos, no se haya destacado como una filosofía inspiradora de prácticas, de actitudes y de redes de organizaciones. El paradigma de las «ciencias de observación» no pasó de ser una técnica de procesamiento de datos y ese hecho, asociado a la debilidad del desarrollo de disciplinas estructurantes como la física, y a la menor inversión en el campo de las ciencias experimentales, creó un ambiente poco favorable al trabajo de laboratorio ligado a la experimentación, la verificación, la innovación y el descubrimiento. En ese marco, la imagen del hombre de ciencia y del científico no puede destacarse como teórico de la objetividad.

NOTAS

1. Sobre las propuestas de Laplace, ver STIGLER [1986, p. 100-130].
2. Además de ser el autor de la fórmula del error probable, Bessel fue también uno de los primeros en relacionar la lista de causas probables de los errores de las observaciones [CHATERJEE, 2003, p. 50-52].
3. Esta lista de las causas del error se basa en dos obras tardías: WELD [1916] y WRIGHT [1906].
4. HERSCHEL [1834, p. 75] (traducción del autor). Sobre la relevancia de Herschel en la filosofía de la ciencia, ver CANNON [1961, p. 215-239].
5. PAES [1898]. Ver también ALMEIDA [1892, p. 69].
6. Debido a un incendio y a las obras de recuperación, los alumnos sólo empezaron a tener aulas prácticas en este observatorio en 1902. El año anterior, Pedro José da Cunha había sido nombrado ayudante del observatorio, del que sería nombra director por Decreto de 23 de noviembre de 1905 [Anuário, 1909; CUNHA,1937, p. 50].
7. ARAÚJO [1900, p. 558] Ver también MATTOS [1897, p. 1069-1112].
8. Según MILHEIRO [1902, 214], «los errores residuales obtenidos representan los errores de las marchas supuestas, o por otra, las correcciones a aplicar a éstas para obtener las marchas probables. Estos errores son accidentales y provienen de la irregulari-

dad de las marchas, debido a causas desconocidas cuyas leyes no sabemos o no podemos determinar».

9. Uno de los casos indicados es el de los precios del pan, cuya distribución parece inadecuada en relación al modelo de la curva de Gauss. La observación es de Adophe Quetelet, quien sin embargo no desarrolla ni comprueba esta idea: [QUETELET, 1849; QUETELET, 1997]. Ver también STIGLER [1986, p. 335].
10. Tras una rápida ascensión al puesto de catedrático, Tamagnini pasará a interesarse por los temas más diversos: comienza por el estudio de la psicología femenina, se dedica después a la enseñanza de la Antropología Criminal en la Facultad de Ciencias (1911), profundiza temas relacionados con la educación y la teoría de la ciencia, fruto de su participación en la Escuela Normal Superior (1915), para acabar asumiendo la defensa de la higiene biológica del pueblo portugués, siendo el principal promotor de la *Sociedade Portuguesa de Estudos Eugénicos* (1937).
11. Los hitos de referencia en la difusión científica de la teoría de los errores son las obras de Paes [1898], y de GUIMARÃES [1904].
12. [TAMAGNINI, 1936, p. 183-185]. Tamagnini [1938] publica, un libro exclusivamente dedicado a la estadística matemática, donde introduce los últimos desarrollos científicos obra de Ronald Fisher: el análisis de la varianza y los tests de significación.
13. LAPLACE [1918] Traducción del autor. Esta célebre frase de Laplace será destacada por primera vez en la cita inicial del artículo de QUETELET [1832, 321-348].
14. QUETELET [1835, p. 12]. Esta cita aparece reproducida posteriormente en otra obra de síntesis de QUETELET [1997].

BIBLIOGRAFÍA

ALMEIDA, L.C. (1892) *A Faculdade de Matemática da Universidade de Coimbra (1872-1892),* Coimbra, Imprensa da Universidade de Coimbra.

Anuário da Escola Politécnica anno lectivo de 1908-1909, (1909), Lisboa, Imprensa Nacional.

ARAÚJO, F. (2001) *O ensino da Economia Política nas Faculdades de Direito*, Coimbra, Almedina.

ARAÚJO, W. (1900) «Algumas Considerações sobre o «Diário dos cronómetros», Annaes do Club Militar Naval, XXX, (7), 556-559.

CAETANO, M. (1961) *Apontamentos para a História da Faculdade de Direito de Lisboa,* Lisboa, Separata da Revista da Faculdade de Direito de Lisboa.

CANNON, W.F. (1961) «John Herschel and the idea of science». *Journal of the History of Ideas,* 22(2), 215-239.

CHATTERJEE, S.K. (2003), *Statistical thought: a perspective and history*, Oxford, Oxford University Press.

CLARK, L.C. (1984) *Social Darwinism in France*, Alabama, University of Alabama Press.

CUNHA, P.J. (1937) *A Escola Politécnica de Lisboa. Breve notícia histórica*, Lisboa, Faculdade de Ciências de Lisboa.

DUFAU, M-P.A. (1866) *Méthode d'observation dans son application aux sciences morales et politiques*, Paris, Jules Renouard/Auguste Durand, Paris.

FAREBROTHER, R.W. (1999) *Fitting Linear Relationships. A history of the Calculus of Observations 1750-1900*, New Cork, Springer Verlag.

FERREIRA, H.A. (1937), «O Observatório do infante D. Luís». En Congresso do Mundo Portugués, Vol. XII, 221-252.

GOMES, J.F. (1990) *A Universidade de Coimbra durante a Primeira República*, Lisboa, Instituto de Inovação Educacional.

GONÇALVES, C.M.S. (1998) Emergência e consolidação dos economistas em Portugal, Tesis de doctorado dactilografiada, Porto, Faculdade de Letras da Universidade do Porto.

GORGES, I. (1991) «The Social survey in Germany before 1933». *En* Martin Bulmer, Kevin Bales y Kathryn Kish Sklar (eds), *The social survey in Historical perspective*, Cambridge, Cambridge University Press, Cambridge, 316-339.

GUIMARÃES, R. (1904) *Noções sobre o cálculo das probabilidades, theoria dos erros e methodo dos minimos quadrados,* Lisboa, A Editora.

HALD, A. (1998) *A History of Mathematical Statistics from 1750 to 1930,* New York, John Wiley & Sons.

HACKING, I. (1983) «Nineteenth Century cracks in the concept of determinism», *Journal of the History of Ideas*, 44(3), 555-475.

HAWKIN, S.M. (1997) *Social Darwinism in European and American Thought*, 1860-1945, Cambridge, Cambridge University Press, Cambridge.

HERSCHEL, J.F.W. (1834) *Discours sur l'étude de la philosophie naturelle,* Paris, Paulin éditeur, Paris,

KNOBLOCH, E. (1992*) «Historical aspects of the foundation of Error Theory'»*. En Javier Echeverría y Andoni Ibarra y Thomas Mormann (eds.), *The space of Mathematics*, Berlin, Walter de Gruyter, 253-279.

KRUGER, L. (1987) «The probabilistic revolution in physics an overview», en Lorenz Kruger y Lorraine Daston y Michael Heidelberger (eds.), *The Probabilistic Revolution*, Vol. 2, Cambridge/Massachussets, MIT Press, 373-378.

LAPLACE, P.S. (1819) *Essai Philosophique sur les probabilités*, Paris M. V. Courcier, 4ª edición, 1814.

LAZARSFELD, P. (1961) «Notes on the history of quantification in sociology-trends, sources and problems». *Isis*, 52(2), 277-333.

LINDENFELD, D.F. (1997) *The Practical imagination. The German Science of State in Nineteenth Century,* Chicago, University of Chicago Press.

MATTOS, A.P. (1897) «Os Chronometros do Douro», *Annaes do Club Militar Naval*, XXVII(12), 1069-1112.

MILHEIRO, J. (1902) «Aplicação do cálculo das probabilidades à determinação do peso dos cronómetros», *Revista do Exército e da Armada*, 106, 213-215.

OBERSCHALL, A. (1965) *Empirical social research in Germany 1848-1914*, Paris-Hague, Mouton & Co.

OLESKO, K.M. (1995), «The meaning of precision. The exact sensibility in nineteenth century Germany». En Norton Wise (ed.), *The values of precision,* Princeton, Princeton University Press.

OLIVEIRA, J.T. (1995) «Um projecto de matemáticas aplicadas: o DEIOC». En *Collected Works J. Tiago de Oliveira*, Évora, Ed. Universidade de Évora, 120-124.

PAES, S. (1898) *Introducção à Theoria dos Erros das Observações*, Coimbra, Imprensa da Universidade de Coimbra.

PLACKETT, R.L. (1972) «The discovery of the method of Least Squares', *Biometrika*, 59(2), 239-251.

PORTER, T. (1986) *The rise of statistical thinking 1820-1900*, Princeton, Princeton University Press.

QUETELET, A. (1832) «Sur la possibilité de mesurer l'influence des causes qui modifient les éléments sociaux, lettre à m. le Dr. Villermé». En A. Quetelet *Correspondance mathématique et physique publiée par A. Quetelet,* Bruxelles, M. Haez Imprimeur, Tome VII, 321-348.

QUETELET, A. (1835) *Sur l'homme et le développement de ses facultés. Essai de Physique sociale*, Paris, Bachelier Imprimeur–Libraire.

QUETELET, A. (1849) *Letters addressed to HRH The grand Duke of Saxe Coburg and Gotha*, Charles & Edwin Layton, London, Traducción de la 1ª edición en frances 1846.

QUETELET, A. (1997) *Physique sociale ou Essai sur le développement des facultés de l'homme*, Académie Royale de Belgique, 1997. Edición del original de 1869.

SEQUEIRA, L.G.B. (1905-1906) «Theoria dos Erros», *Revista de Artilharia*, 13, 159-161.

SILVA, C.M.D. (1917) Curso de Estadística. Em harmonia com as preleccções do Ex.mo Sr. Dr. Magalhães Colaço, Coimbra, Tipografia Neves.

STIGLER, S.T. (1986) *The History of statistics*, Cambridge/Massachussets, Belknap Press.

STIGLER, S.T. (1981) «Gauss and the invention of Least Squares», *Annals of Statistics*, 9(3), 465-474.

SWIJTINK Z.G. (1987) «The objectification of observation: measurement and statistical methods in the nineteenth century». En Lorenz Kruger, Lorraine Daston and Michael Heidelberger (eds.), *The Probabilistic Revolution,* Vol. 1, Cambridge/Massachussets, MIT Press 261-286.

TAMAGNINI, E. (1904) «Phitometria», *O Instituto*, 56(6), 362-373.
TAMAGNINI, E. (1904) «Phitometria», *O Instituto*, 51(8), 478-485.
TAMAGNINI, E. (1904) «Phitometria», *O Instituto*, 51(12), 653-743.
TAMAGNINI, E. (1902) «Phitometria», *O Instituto*, 52(1), 40-46.
TAMAGNINI, E. (1936) A pigmentação dos portugueses, *Revista da Faculdade de Ciências*, Universidade de Coimbra, Coimbra, VI, 120-190.
TAMAGNINI, E. (1938) *A heterogeneidade da variação. Análise da variância*, Coimbra, Tipografia Atlântida.
WALKER, H.M. (1975), *Studies in the history of statistical method*, New cork, Arno Press.
WELD, L.D. (1916) *Theory of errors and least Squares. A textbook for college students*, New York Macmillan.
WRIGHT, T.W. (1906) *The adjustment of observations by the method of least squares with application to geodetic work*, New York, D. Van Nostrand Company.