

## **Docencia de la Bioestadística en Medicina y Biología**

CARLES M. CUADRAS

Facultad de Biología  
Universidad de Barcelona

La enseñanza de la Bioestadística en Medicina y Biología debe desarrollarse a lo largo de dos cursos. En un primer curso obligatorio se explicarán los conceptos básicos, insistiendo más en la correcta aplicación del análisis de datos que en el fundamento teórico. La formación estadística quedará completada en un segundo curso optativo. Se discute el papel que juega la Informática así como la actividad que debe desempeñar el profesor de Bioestadística en la labor de consulta y asesoramiento.

## 1. LA BIOESTADÍSTICA EN LA FORMACION DEL MEDICO Y BIOLOGO

En la elaboración de un proyecto docente, cuyo objetivo sea una asignatura de Bioestadística para médicos o biólogos, es necesario situarlo en el contexto y circunstancias en las que la asignatura debe desarrollarse.

Empezaremos primero por definir la Bioestadística como "la Ciencia que tiene por objeto la recogida, descripción y análisis de los datos experimentales, procedentes de la observación de los fenómenos biológicos (Biología) o de la observación clínica, epidemiológica, etc. (Medicina)".

No pretendemos hacer aquí una exposición de los orígenes y evolución histórica de la Estadística en general y la Bioestadística en particular, pero sí admitiremos que la Estadística es, sin lugar a dudas, una *Ciencia Interdisciplinaria*. Su lenguaje es predominantemente *matemático*, pero muchos de sus modelos sólo tienen razón de ser si se sitúan adecuadamente en el contexto de la Biología, Medicina, Psicología, Economía, etc.

Dicho esto, empecemos por observar que el futuro médico o biólogo, habrá elegido, probablemente, la opción B en COU, para acceder a la rama bio-sanitaria e ingresar, si es admitido, en la facultad correspondiente. Ello significa que, con bastante probabilidad, el aspirante no eligió Matemáticas en COU, evitando así una asignatura incómoda. Luego es de esperar que el alumno posea una base matemática débil, y lo que es más importante de tener en cuenta: poca motivación hacia esta importante ciencia exacta.

En segundo lugar, el *método científico*, como procedimiento que se sigue para buscar y exponer la verdad sobre los fenómenos naturales, es una necesidad inherente a la formación de cualquier médico o biólogo. Tampoco ahora vamos a insistir en el hecho tan evidente de que la Estadística, que incluso ha sido definida como la "Metodología de la Ciencia Experimental", juega un papel fundamental en el método científico. Luego, tan necesario como enseñar fórmulas estadísticas, lo es inculcar al alumno en la metodología, empezando por hacerle comprender la lógica inductiva, cómo se diferencia de la lógica deductiva, y de cómo y porqué la primera está tan fuertemente asociada a la Estadística. El muestreo, el diseño experimental, las conclusiones, el objetivo descriptivo, etc., son pues aspectos fundamentales que deben aprenderse, sin olvidar la llamada metodología no observacional (experiencias de campo, variabilidad genética humana), en la que el investigador se "encuentra" con las observaciones, en lugar de "producirlas" bajo el rigor de un protocolo experimental.

En tercer lugar la *Informática* ya no puede considerarse una técnica reservada a unos pocos iniciados. El ordenador y los programas de aplica-

ciones que puede explotar, ha irrumpido masivamente en la sociedad. La Bioestadística, al tener que tratar con bases de datos y fórmulas matemáticas, necesita tanto de la Informática como un médico de los rayos X o un biólogo del microscopio. Desde luego, una asignatura de Bioestadística no es una asignatura de Informática, pero esta última debe ser considerada como una herramienta tan fundamental como accesible, dado el precio y el estado actual de los programas para microordenadores.

## 2. CONTENIDO GENERAL DE LA ASIGNATURA OBLIGATORIA

Admitiendo que el alumno de Medicina o Biología no posee ni demuestra, en general, demasiado interés por la base matemática, deberemos situar el proyecto docente en armonía con esta situación. Luego, el lenguaje matemático, que en algunos casos no podrá evitarse, en otros, sin embargo, puede reducirse hábilmente.

El lenguaje matemático debe estar presente para explicar los rudimentos del *Cálculo de Probabilidades*. Así, no podemos dejar de hablar de la "reunión e intersección de sucesos", "probabilidad de un suceso", etc., pero tales conceptos ligan muy bien con el lenguaje ordinario (conjunciones copulativas, negación) y con la noción, tan utilizada en el lenguaje corriente, de frecuencia absoluta, frecuencia relativa y porcentaje. Estas definiciones pueden y deben ser explicadas, siempre sobre la base de ejemplos, utilizando una formulación matemática sencilla pero suficiente.

Con más dificultades, pero sin poder tampoco obviar, es necesario explicar algunos rudimentos sobre variables aleatorias, funciones de densidad discretas y continuas, concepto de esperanza y varianza, coeficiente de correlación poblacional, etc. Somos conscientes de la dificultad que ello representa, pues ¿cómo evitar el uso de derivadas e integrales? Sin embargo, una buena exposición previa de una *Estadística Descriptiva* o Análisis Descriptivo de Datos puede sernos de gran utilidad. Así conviene insistir en lo que se entiende por *variable estadística*, cuya abstracción matemática sería el concepto de variable aleatoria, el cual algunos alumnos no llegarán a entender nunca (habla la experiencia docente), pero sí que deberían tener claro que una variable estadística es una medida sobre los individuos de una población que fluctúa aleatoriamente de acuerdo con una cierta distribución de frecuencias o ley de probabilidad, y por lo tanto diferente de una variable control (tiempo, dosis de un medicamento, temperatura, etc.).

En consecuencia, un curso obligatorio de Bioestadística deberá contener una primera parte, impartida en el primer cuatrimestre, que incluirá los dos temas siguientes:

### 1. *Estadística Descriptiva.*

### 2. *Fundamentos de Probabilidad y Variables Aleatorias.*

Cuando el alumno esté familiarizado con frecuencias, histogramas, medias, varianzas, correlaciones, algunas reglas sobre cálculo de probabilidades y algunas distribuciones como la binomial y normal, podemos abordar la enseñanza de la *Inferencia Estadística*. Al principio se insistirá sobre la Metodología, explicando en qué sentido una muestra representa un colectivo, las reglas de la lógica inductiva, y cómo ciertas reglas de decisión nos permite pasar de lo particular a lo general. Conceptos como error sistemático, error aleatorio, significación estadística y significación clínica o biológica, son imprescindibles y su comprensión necesaria.

El aprendizaje de la *Inferencia Estadística* debe hacerse sobre la base de una *colección de problemas*, que contemple casos variados y a ser posible tomados de situaciones reales. El alumno no deberá aprender conceptos abstractos, sino que tratará de resolver los problemas, para lo cual irá necesitando y por tanto motivándose, las reglas de decisión y fórmulas propias de la Estadística. Sin embargo, la descripción de las fórmulas (en Estadística hay cientos de ellas) deberá en muchos casos evitarse. Se tratará de entender bien el problema (hay que comparar dos tratamientos), la toma de datos, la fiabilidad de las conclusiones obtenidas, el nivel de significación, etc. Así pues, puede ser irrelevante que el alumno conozca con detalle las fórmulas que intervienen en el test  $t$  de Student al comparar las medias de dos tratamientos, o en el test de Mann-Whitney, que haya sido utilizado en vez de la  $t$ , por desviaciones de normalidad de las variables. Es más interesante que sepa interpretar las diferencias y responder correctamente a las cuestiones planteadas en el problema a resolver.

Pero este planteamiento sólo es posible con la ayuda de la *Informática*. El alumno deberá conocer un paquete estadístico lo suficientemente inteligente para resolver con éxito los problemas reseñados. Si los conceptos los tiene claros y sabe manejar el programa, los resultados estadísticos se obtendrán automáticamente y sólo se tratará de llegar lo mejor posible a las conclusiones verdaderas, saltándose un poco o mucho el fundamento matemático subyacente. Asimismo, el programa deberá contener un HELP que proporcione, en cualquier momento, información sobre el manejo del programa, pero también sobre el significado de los conceptos estadísticos (Moda: El intervalo de clase o valor más frecuente de la variable. Nivel de Significación: es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es cierta).

Una vez el alumno esté familiarizado con la resolución de problemas relativos a una sola población o a dos poblaciones (problema de una y dos muestras), comprenda bien lo que se entiende por muestras apareadas,

distinga correctamente entre datos cuantitativos y datos procedentes de la observación de variables categóricas, estaremos en condiciones de abordar el último tema del programa: *Modelos de Regresión y Análisis de la Varianza*.

En un modelo de regresión debe hacerse mayor énfasis sobre la variable respuesta y las variables predictivas, y la forma e interpretación del modelo matemático. No se trata tanto de saber cómo se obtienen los coeficientes de regresión (eso ya lo hace el programa), sino qué significan y en qué sentido varía la variable respuesta cuando lo hacen las variables predictivas. Desde luego, la descripción de la función (exponencial, logarítmica) que representa la base de un modelo no lineal, es necesaria, pero los detalles de los cálculos deben omitirse. También es necesario insistir en el grado de adecuación del modelo, sabiendo interpretar tanto el coeficiente de determinación y su significación, como el error típico cometido en la predicción.

El Análisis de la Varianza debe ir precedido de unas generalidades sobre diseño experimental. De nuevo, la importancia estriba en distinguir bien los conceptos de variable independiente, factor, variable concomitante, réplica, observaciones repetidas, etc., más que los detalles del modelo, que en algunos casos exigen un fuerte contingente matemático. El alumno debe conocer, por ejemplo, que un experimento con un control y dos tratamientos, en los que el sexo y la edad son causas de variabilidad, corresponde a un diseño de dos factores con una variable concomitante, todos ellos influyendo en la variable respuesta que mide la eficacia del tratamiento. Pero incluso, si se dispone de un programa lo bastante completo, bastaría con especificar bien las variables para que el ordenador obtenga los resultados. Entonces el énfasis debe hacerse en llegar a una interpretación correcta de los mismos a fin de no errar en las conclusiones médicas o biológicas.

El aprendizaje de estos temas debe hacerse, todavía con más razón aquí, con el soporte de una colección de problemas y casos prácticos.

Con todo, el segundo cuatrimestre de un curso obligatorio de Bioestadística debería contener los temas siguientes:

3. *Inferencia Estadística.*
4. *Modelos de regresión y Análisis de la Varianza.*

### **3. CURSO OPTATIVO DE BIOESTADÍSTICA**

A pesar de que nos esforcemos en impartir un curso de Bioestadística lo mejor posible, nuestros esfuerzos se verán coronados por un éxito limitado o escaso. Seamos realistas. El futuro médico o biólogo no considera como

obligada una materia que se parece a las matemáticas (de qué me sirve tanta fórmula; yo quiero ser un buen pediatra, especialista en aves, etc.). Compruébese, sino, la poca Bioestadística que recuerdan los alumnos al finalizar la carrera. Si el alumno sabe consultar unos libros adecuados, manejar programas y no olvida del todo ciertos conceptos básicos, algo habremos conseguido, pero no esperemos mucho más.

Desde luego, se trata de una opinión general. Hay excepciones que confirman la regla. En efecto, existe en cada promoción un grupo de alumnos, poco numeroso, que manifiestan un interés por la matemática y la estadística, claramente superior al resto. Para este grupo de alumnos es necesario ofrecer la oportunidad de cursar una asignatura optativa, que podríamos titular *Ampliación de Bioestadística*. Tal asignatura existe en la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona desde 1976. Posteriormente se han creado asignaturas optativas similares en otras facultades del país.

Los futuros médicos o biólogos, interesándose y dominando una especialidad de Bioestadística, deben surgir de entre los alumnos que cursen Ampliación, salvo contadas excepciones (médicos que siguen un master, un postgrado, etc.).

¿Por qué una asignatura y no un curso de doctorado? Porque en el primer caso los alumnos deben pasar unos exámenes reglamentarios, dura todo un curso, y se supone que todavía no trabajan. El alumno de tercer ciclo o doctorado, acostumbra a seguir el curso con otra mentalidad, está mucho más ocupado, suele tener obligaciones laborales y admite de mala gana un examen clásico. Además, la estructura, todavía poco experimentada del tercer ciclo actual, tiene deficiencias que son bien conocidas. Tampoco se pueden considerar excesivamente serios, a la hora de valorar la utilidad didáctica, aquellos cursillos en los que se adquiere un Diploma de Asistencia tan decorativo como inoperante.

De entre los alumnos de Ampliación surgirán aquellos médicos o biólogos con conocimientos estadísticos más sólidos. Distribuidos en departamentos, hospitales, clínicas, laboratorios y centros de investigación, llevarán la pauta de la Estadística ejercida con profesionalidad. Y lo que también es importante: de entre ellos surgirán los nuevos profesores de Bioestadística, que por ser médicos o biólogos, estarán doblemente motivados en la importancia y necesidad de la metodología estadística.

El curso de Ampliación debe ser teórico-práctico. Es decir, debe poner mayor énfasis en la teoría que el curso obligatorio, pero estar fuertemente motivado por las aplicaciones. Como el alumno ya está mucho más formado, los ejemplos pueden ser más reales y por lo tanto menos triviales.

El contenido de la asignatura se puede dividir en seis grandes temas:

1. *Técnicas informáticas.*
2. *Cálculo matricial.*
3. *Diseño de experimentos.*
4. *Técnicas multivariantes.*
5. *Análisis de datos categóricos.*
6. *Análisis de datos de supervivencia y Epidemiología.*

El primer tema es obvio y estará presente a lo largo de todo el curso. Un curso de *cálculo matricial*, que puede desarrollarse con la ayuda de un paquete Mat Lab, es absolutamente necesario para una comprensión matemática de los temas siguientes. Creemos que no puede haber dificultades en enseñar cómo manejar y operar con matrices si la orientación es concreta, es decir, si se huye de la abstracción inherente a ciertas estructuras matemáticas.

El tema *diseño de experimentos* es fundamental y debe ampliar lo que se expuso en el curso obligatorio. El enfoque debe partir del modelo lineal general, que comprende como caso particular los modelos multifactoriales, la regresión múltiple y polinómica, el análisis de la covarianza, etc. La exposición del tema debe insistir mucho más en la modelización, los ejemplos y las aplicaciones, que en la formulación matemática.

Las *técnicas multivariantes* se justifican en cuanto se trabaja con muchas variables a la vez. Tales técnicas son más importantes en Biología que en Medicina. Como aquí el fundamento matemático empieza a ser complejo, conviene mantener un esquema práctico:

a) ¿qué es? b) ¿para qué sirve? c) Aplicaciones. Mediante un cuadro muy sintético, se intentará orientar al alumno sobre el algoritmo de cada técnica. En Medicina se deberá poner énfasis especial en el Análisis Discriminante, exponiendo con claridad los diferentes enfoques y cómo pueden ser aplicados en la diagnóstico clínica. Por supuesto, este tema debe estar estrechamente ligado a la Informática.

El *Análisis de Datos categóricos* se iniciará con un estudio más profundo de la prueba *ji-cuadrado* en tablas de contingencia y las medidas de asociación estocásticas. Una breve exposición del Análisis de Correspondencias puede ser conveniente, pero la presentación y aplicaciones del modelo *log-lineal*, constituirá la parte fuerte del tema, que conecta bien con el tema del Análisis de la Varianza.

Para el *Análisis de Datos de Supervivencia* es necesario un repaso del concepto de función de densidad y de distribución, a fin de poder introducir

las funciones de supervivencia y riesgo, así como la curva de supervivencia. El estudio de los factores que pueden influir en el tiempo de supervivencia (modelo de regresión de Cox), así como la comparación de curvas de supervivencia son también temas importantes, que a menudo deben estudiarse bajo la situación de datos censurados. Para los alumnos de Medicina este tema se completaría con algunos fundamentos de *Epidemiología*.

#### 4. INCIDENCIA DE LA BIOESTADÍSTICA EN LA CALIDAD DE LA INVESTIGACION EXPERIMENTAL

La finalidad de una Unidad Docente de Bioestadística no es exclusivamente didáctica. La inter-disciplinariedad de la Estadística la convierte en materia común a todas las ciencias, tanto experimentales como humanas. Las consultas a los profesores de Bioestadística son habituales, a veces tan frecuentes, que desbordan la capacidad asesora de la Unidad Docente.

Colton (1979), en una declaración inicial de principios, señala que la medicina es cada vez más cuantitativa, la investigación descansa cada vez más sobre la metodología estadística, la cual invade crecientemente la literatura médica. Seguidamente cita un estudio en el que se comprueba que de 149 trabajos leídos y clasificados como estudios analíticos, sólo se juzgó aceptable un 28 %

Sokal y Rohlf (1979) argumentan a favor de la importancia y aplicación de la Estadística a los datos observacionales, es decir, lo que ellos llaman "estructura estadística de la mente", frente a la visión estrictamente determinista. Seguidamente reproducen un gráfico que ofrece la evolución de la frecuencia de los trabajos publicados en *The American Naturalist* (1890-1960). En el gráfico se aprecia como van descendiendo en número los trabajos en los que no aparecen resultados numéricos, mientras que mantienen una tendencia clara a crecer los trabajos que emplean métodos matemáticos y estadísticos.

Gore *et al.* (1977) llevan a cabo un estudio crítico sobre errores en metodología estadística, tomando 77 artículos y originales en 13 números consecutivos del *British Medical Journal*. No había análisis estadístico en 15 trabajos, mientras en los 62 restantes, 32 incluían al menos un error en alguna de las cinco categorías de errores considerados por los autores:

- I = inadecuada descripción básica de los datos,
- II = confusiones en la independencia estadística,
- III = errores en la aleatorización,
- IV = errores en el test *t* de Student,
- V = errores en el test *ji*-cuadrado.

TABLA 2

|        | Año 1971 |            |       | Año 1979 |            |       |
|--------|----------|------------|-------|----------|------------|-------|
|        | Adecuado | Inadecuado | Total | Adecuado | Inadecuado | Total |
| No uso | 52       | 31         | 83    | 31       | 17         | 48    |
| Uso    | 6        | 13         | 19    | 17       | 33         | 50    |
| Total  | 58       | 44         | 102   | 48       | 50         | 98    |

Nolasco *et al* (1986) realizan un estudio comparativo sobre la utilización de la estadística. Toman una muestra de los 2.256 artículos publicados entre, los años 1975 y 1984, en *The New England Journal of Medicine* (NE), *The Lancet* (L), *Revista Clínica Española* (RCE) y *Medicina Clínica* (MC). El estudio versa en la cantidad (no la calidad) de las técnicas utilizadas, a fin de comprobar si ciertos factores (inclusión de la Bioestadística en el currículum de Medicina, utilización de paquetes estadísticos, integración y colaboración de equipos estadísticos en el diseño de experiencias clínicas) han propiciado un aumento significativo de la utilización de técnicas estadísticas. Además, tratan de comparar las revistas nacionales frente a las extranjeras en cuanto a la utilización de técnicas sofisticadas (ANOVA, análisis multivariante).

La Tabla 3 resume los resultados obtenidos. En las dos revistas extranjeras se obtuvo un incremento significativo ( $p < 0.05$ ) en la utilización de la metodología estadística para NE y L. Sin embargo las diferencias no eran significativas para las dos revistas nacionales. La diferencia de aumento de la utilización de técnicas sofisticadas resulta considerable para NE y L, mientras que RCE y ML apenas presentan variación.

TABLA 3

|                             | Año 1975 |      |      |      | Año 1984 |      |      |      |
|-----------------------------|----------|------|------|------|----------|------|------|------|
|                             | NE       | L    | RCE  | MC   | NE       | L    | RCE  | MC   |
| Análisis estadísticos       | 58       | 56.6 | 47.5 | 55.6 | 65.5     | 63.8 | 47.7 | 63.7 |
| ANOVA y téc. multivariantes | 3.6      | 2.4  | 0.0  | 2.1  | 17.4     | 10.4 | 1.2  | 2.4  |

En la Tabla 1 se puede incluso apreciar que 2 trabajos tenían errores en 3 de las 5 categorías consideradas. Tras una discusión que concluye con la afirmación de que es un alivio constatar que en sólo 5 trabajos se llega a conclusiones falsas, los autores sentencian que "los investigadores médicos deberían consultar con personas que tuvieran una verdadera comprensión de los métodos estadísticos".

TABLA 1

| Número de categorías $n$ de donde proceden los errores | Frecuencia de trabajos con errores en $n$ categorías |
|--|--|
| 0  | 30   |
| 1  | 19   |
| 2  | 11   |
| 3  | 2  |
| 4  | —  |
| 5  | —  |
| <b>Total</b>   | <b>62</b>  |

Ji-cuadrado (Poisson):  $\chi^2 = 0,84$

Un estudio análogo fué realizado por Martín *et al.* (1982), revisando 595 trabajos publicados en *Medicina Clínica*, entre 1971 y 1979. La Tabla 2 contiene solamente resultados relativos al primer y último año del período estudiado. La proporción de artículos que no usan estadística pasa (aproximadamente) de 5:1 a 1:1, mientras la proporción de mal uso es de 0,88 en 1971 y de 0,75 en 1979. La proporción de trabajos inadecuados es 0,43 (1971) y 0,51 (1979). Los autores concluyen que hay un aumento general de la utilización de la estadística, aunque en un porcentaje muy elevado de manera poco adecuada. Este aumento de análisis inadecuados se debe, como argumentan los autores, a que la asignatura Bioestadística está situada en el primer curso, cuando debería estar en el segundo ciclo, no faltando voces que indican que la enseñanza debería impartirse en el tercer ciclo. Sin embargo, resulta mucho más fácil introducir los conceptos estadísticos, que están ligados a las Matemáticas, en alumnos de primer curso que en alumnos de cursos avanzados o graduados. La opinión sustentada en el estudio es que "sólo podrá cambiarse el signo de este fenómeno en el momento en que la Estadística sea asumida como método de trabajo por todas las áreas que configuran el *currículum* de los estudios de Medicina, independientemente de la situación que tenga su docencia dentro del mismo".

Nolasco *et al* (1986) comparten la opinión sostenida por Martin *et al* (1982) y añaden: "creemos que el profesional estadístico debe encontrar un puesto de trabajo, dentro del sector médico, no únicamente en los departamentos de Bioestadística de las facultades de Medicina, sino también en hospitales, residencias y otros centros, en los que su labor sería de asesoramiento, colaboración y diseño de investigaciones médicas, dotando del rigor estadístico necesario a la investigación en Medicina en este país". Finalmente concluyen que: "cabría efectuar una llamada de alerta a los profesionales médicos de este país, a la luz de la evolución notoriamente más alta observada en las publicaciones del exterior, incidiendo, como implícitamente derivamos a lo largo del presente trabajo, en la necesidad de una incorporación más profunda de la metodología estadística, tanto a través de una inclusión de sus aspectos formales en las experiencias investigadoras, como en la incorporación de los profesionales estadísticos a los centros de investigación médica".

También es interesante citar el estudio de Wulff *et al* (1987) sobre la comprensión de ciertos conceptos básicos de Estadística (desviación típica, error estándar,  $p < 0.05$ ,  $p > 0.05$ , coeficiente de correlación). El estudio concluye que el conocimiento de la mayor parte de los médicos es tan limitado, que no se puede esperar que extraigan conclusiones acertadas de aquellos análisis estadísticos presentes en las revistas médicas. Sin embargo el 65 % de los médicos de la muestra convienen que este problema debe ser resuelto.

La solución que proponemos aquí consiste en impartir una asignatura obligatoria en el primer ciclo, cuyo objetivo mínimo sea aprender a utilizar la estadística sin incurrir en ninguno de los errores pertenecientes a las categorías citadas anteriormente. La formación debe ser completada a lo largo de una asignatura optativa, bajo las directrices propuestas, dirigidas a alumnos con un especial interés hacia la metodología estadística. El papel que debe jugar el profesor de Bioestadística constituye otro aspecto esencial del problema.

Tratemos ahora de evaluar las consecuencias de impartir, desde 1976, una Ampliación de Bioestadística, además de la Bioestadística de primer ciclo, en la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona. Los efectos pueden esperarse hacia 1980. La opinión general, obtenida a través de una pequeña encuesta, es que los alumnos de Ampliación han contribuido a aumentar el nivel estadístico de las publicaciones, especialmente en los campos de la Genética, Ecología y Microbiología, pero también en Botánica, Fisiología y Zoología.

No es fácil, sin embargo, dar una prueba objetiva de este hecho. Los biólogos publican sus trabajos en revistas muy diversas, en muchos casos

extranjerías. Además, no existe una revista de amplia difusión, comparable a *Medicina Clínica*, que pueda servir de referencia. Pero, a fin de ilustrar las afirmaciones anteriores con algunos datos, que desde luego muestran sólo una visión parcial del tema, se han analizado todos los números de *Oecología Acuática* (EA) y *Publicaciones del Departamento de Zoología* (Z), ambas publicadas en la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona.

La Tabla 4 contiene la distribución de artículos hasta 1979, y seguidamente número a número, hasta 1988. Los artículos con análisis estadístico superior (regresión no lineal, ANOVA, análisis de datos direccionales, análisis multivariante) son frecuentes en EA, y aparecen tímidamente, aunque más tarde, en Z. El índice se calculó dividiendo el número de artículos con contenido estadístico por el número total de artículos, pero dando un peso doble al número de artículos con nivel superior. Este índice aumenta a partir de 1980 y permanece más o menos estable en años sucesivos.

TABLA 4

## OECOLOGIA AQUATICA

| Período                   | 73-78 | 80  | 81  | 82  | 84  | 87  | 88  |
|---------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Números                   | 1 - 3 | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| Sin estadística (a)       | 10    | 1   | 3   | 3   | 1   | 1   | 1   |
| Con estadística (b)       | 4     | 3   | 11  | 8   | 2   | 8   | 2   |
| Estadís. avanzada (c)     | 4     | 1   | 7   | 6   | 3   | 3   | 3   |
| Índice: $(b+2c)/(a+b+2c)$ | .55   | .83 | .89 | .87 | .89 | .93 | .89 |

## PUBLICACIONES DEL DEPARTAMENTO DE ZOOLOGIA

| Período           | 76-79 | 80  | 81  | 81  | 82  | 83  | 84  | 85  | 86  | 87  | 88  |
|-------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Números           | 1 - 4 | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  |
| Sin estadística   | 27    | 7   | 7   | 8   | 10  | 8   | 6   | 10  | 9   | 9   | 7   |
| Con estadística   | 7     | 2   | 5   | 5   | 5   | 8   | 5   | 4   | 5   | 5   | 6   |
| Estadís. avanzada | —     | —   | —   | —   | —   | —   | —   | 1   | 1   | 1   | 3   |
| Índice:           | .21   | .22 | .42 | .38 | .33 | .50 | .45 | .38 | .44 | .44 | .63 |

A pesar del carácter sucinto de los datos anteriores, lo cierto es que hemos podido constatar que buena parte de los biólogos que llevan la voz cantante sobre Bioestadística en departamentos, centros del CSIC, laboratorios y empresas, son antiguos alumnos de Ampliación de Bioestadística.

## 5. EL PAPEL DEL PROFESOR DE BIOESTADÍSTICA

Las deficiencias que puede tener un médico o biólogo en la formación estadística, en muchos casos por falta de motivación, como ya comentábamos anteriormente, puede quedar compensada por una buena asistencia por parte del profesorado responsable. Es cierto que existen trabajos cargados de buena intención, en forma de libros y artículos, que pretenden difundir e incentivar el correcto uso de la Bioestadística. Citemos, por ejemplo, Doménech (1980), Porta (1986), Porta *et al* (1987, 1988), Plascencia y Porta (1987), Sentís *et al.* (1986). Aunque en algún caso, el artículo es una excusa para propagar algún curso a distancia o centro de asesoramiento (remunerado) en Bioestadística.

Con todo, el conjunto de métodos estadísticos es demasiado extenso, así que, en consecuencia, el usuario termina inexorablemente requiriendo la colaboración de un experto en estadística.

Por lo tanto, un buen profesor de Bioestadística debe dominar una especialidad, además de poseer una amplia cultura estadística. Las especialidades deben ser más o menos complementarias, de modo que la Unidad de Bioestadística, como un conjunto de recursos informáticos, bibliográficos y humanos, ofrezca al usuario un abanico suficientemente amplio para ser capaz de responder, con responsabilidad y precisión, a la variada demanda.

Sin embargo, toda esta declaración acerca de como debe ser una Unidad Docente, no se ha cumplido en la práctica en bastantes casos. Las causas son varias, pero mencionaremos dos:

1) Licenciados o doctores en Ciencias Exactas que se han visto obligados a enseñar Bioestadística, pero sin estar interesados en la materia. Resultados: cursos abstractos, falta de ejemplos, exceso de teoría.

2) Licenciados o doctores en disciplinas varias, dominando posiblemente especialidades diversas pero con falta de base en la metodología estadística. Resultado: falta de calidad en la enseñanza, asesoramiento deficiente.

La Estadística no debería ser considerada como una rama de las Matemáticas, sino como una disciplina separada, que utiliza las herramientas matemáticas, de modo semejante a lo que acontece en Física o Economía. La enseñanza de la Estadística no debería estar monopolizada por los matemáticos. La importancia de la Estadística no estriba en conseguir

brillantes teoremas, sino en la utilidad que tiene en el estudio e interpretación de los datos. (Véase Moore, 1988, y la discusión que sigue en el mismo artículo).

Por otra parte, la Estadística tampoco debería estar enseñada por profesores procedentes de otras disciplinas, pero con notables lagunas en los fundamentos y métodos que son propiamente estadísticos. Sin embargo, como se demuestra en un estudio sobre la ordenación, por parte de los alumnos, de los defectos docentes de los profesores de Estadística, la falta de conocimiento en la materia se considera peor defecto que el exceso de teoría (Cuadras, 1988).

En definitiva, y a falta de una licenciatura en Estadística, que por el momento no existe, el profesor de Bioestadística (sea matemático, biólogo, médico, economista, ingeniero, etc.) debe conocer bien los fundamentos de la Estadística e interesarse por las aplicaciones, debe reciclarse, estar abierto a las ideas de los demás, debe investigar, asistir a los congresos nacionales e internacionales, así como estar al tanto del contenido estadístico de las tesis doctorales que indirectamente le conciernen. En caso contrario, además de encontrarnos con deficiencias docentes, seguirán publicándose trabajos con errores estadísticos a pesar de estar "asesorados" por "expertos" en Bioestadística (*Med. Clin.* 1988; 91: 732-735).

## 6. BIBLIOGRAFIA

- COLTON, T. (1979) *Estadística en Medicina*. Salvat, Barcelona.
- CUADRAS, C. M. (1988) Distancias Estadísticas. *Estadística Española*, 30 (119), 295-378.
- DOMENECH, J. M. (1980) Bioestadística. Un enfoque de los métodos estadísticos en Medicina (II). *Mir*, 2(7), 407-414.
- GORE, S. M., JONES, I. G. y RYTTER, E. C. (1977). Misuse of statistical methods: critical assesment of articles in BMJ from January to March 1976. *British Med. J.*, 1977, 1, 85-87.
- MARTIN, M., SANZ, F. y ANDREU, D. (1982). Efectos de la introducción de la Bioestadística en el currículum de los estudios de Medicina. Análisis de una década en la revista Medicina Clínica (Barcelona). *Med. Clín.* 79, 273-276.
- MOORE, D. S. (1988). Should mathematicians teach statistics? (with discussion). *The College Mathem. J.*, 19(1), 3-35.
- NOLASCO, A., GASCON, E., MUR, P., FERRANDIZ, E. y ALVAREZ-DARDET, C. (1986). Utilización de la Estadística en publicaciones médicas: una comparación internacional. *Med. Clín.* 86, 841-844.

- PLASENCIA, y PORTA, M. (1988). La calidad de la información clínica (II): significación estadística. *Med. Clín.* 90, 122-126.
- PORTA, M. (1986). La observación clínica y el razonamiento epidemiológico. *Med. Clín.* 87, 816-819.
- PORTA, M. *et al* (1987). La calidad de la información clínica (I): validez. *Med. Clín.* 89, 741-747.
- PORTA, M. *et al* (1988). La calidad de la información clínica (III): ¿estadísticamente significativo o clínicamente importante? *Med. Clín.* 90, 463-468.
- SENTIS, J. *et al* (1986) Bases de Bioestadística. *Jano*, 30, (Serie Monográfica M. C. núm. 4), 1992-2071.
- SOKAL, R. R. y ROHLF, F. J. (1979) *Biometría*. Blume, Barcelona.
- WULFF, H., ANDERSEN, B., BRANDENHOFF, P. y GUTTLER, F. (1987) What do Doctors know about Statistics? *Stat. in Medicine*, 6, 3-10

## Comentarios sobre la Enseñanza de la Bioestadística

### COMENTARIO

JOSE MIGUEL BERNARDO

Departamento de Estadística, Presidencia de la Generalidad Valenciana  
Departamento de Estadística e I. O., Universidad de Valencia

### 1. INTRODUCCION

Desde sus comienzos, la práctica profesional de la Bioestadística ha requerido una actitud interdisciplinar, en la que los conocimientos matemáticos del estadístico, la información sobre el significado real de los datos proporcionada por los médicos o biólogos que los han producido, y los métodos de cálculo accesibles en cada momento histórico, se han combinado para proporcionar soluciones a los problemas de investigación y de decisión que se han ido planteando. Como consecuencia de este proceso, han ido apareciendo un conjunto de técnicas, no siempre consistentes entre sí, que constituyen el núcleo de la formación bioestadística tradicional.

En las últimas décadas, sin embargo, hemos asistido a una rápida evolución de la metodología utilizada, que se ha debido, fundamentalmente, a dos hechos importantes. Por una parte, el increíble desarrollo de los métodos de cálculo, con la aparición de potentes microordenadores de bajo coste, capaces de realizar de forma interactiva, y con soporte gráfico, cálculos que hace solo unos años eran intratables, ha transformado el análisis de datos; la rigidez de los planteamientos tradicionales está dando paso a una *actitud exploratoria* en la que los datos son estudiados desde múltiples puntos de vista, a la busca de patrones, relaciones o interdependencias, que permitan intuir los posibles modelos subyacentes a las fluctuaciones aleatorias, los errores y la confusión general, que típicamente se observan en los datos reales. Por otra parte, la formalización axiomática, presente en las matemáticas desde Euclides, ha terminado por alcanzar a los métodos estadísticos; los distintos métodos tradicionales están siendo progresivamente sustituidos por una *metodología general unificada*, deducida a partir de los sólidos fundamentos axiomáticos de la teoría de la decisión, y caracterizada por la descripción probabilística de la incertidumbre: la metodología Bayesiana.

Bernardo (1989) proporciona un análisis técnico detallado de estas cuestiones. En esta nota, nos limitaremos a describir brevemente las implicaciones que estos factores deberían tener sobre una enseñanza moderna de la Bioestadística.

## 2. ANALISIS DE DATOS

En la descripción del análisis de datos moderno hay dos adjetivos fundamentales: *interactivo* y *gráfico*. La importancia de tales características puede apreciarse mejor recordando brevemente la historia de los sistemas de cálculo disponibles para el análisis estadístico.

Aunque la mayor parte de los métodos estadísticos clásicos ya se conocían a finales de los años treinta, sólo pudieron ser empleados de forma efectiva con la aparición de los sistemas electrónicos de cálculo. En sus comienzos, en los años 60, los programas de análisis estadístico residían en grandes ordenadores, y eran accedidos por los usuarios mediante tarjetas perforadas, que había que rehacer si se cometía un error; el paquete de tarjetas, que contenía las instrucciones de control y los datos, era físicamente entregado en el centro de cálculo, y los resultados eran recogidos en el mismo lugar, impresos en papel continuo, unas horas más tarde.

A principios de los 70 se trabajaba ya sobre terminales que evitaban los desplazamientos, se habían introducido lenguajes de control con comandos nemotécnicos, como "ajuste polinómico" o "regresión", y las variables eran ya identificadas por sus nombres, en lugar de por su código numérico. Sin embargo, se seguía trabajando en lotes (modo "batch"), de forma que el usuario debía ejecutar todo el programa de golpe y esperar, a veces varias horas, para obtener los resultados, ... o la indicación de que había algún error.

Los sistemas interactivos, en los que se teclea un comando en la terminal y el programa lo ejecuta de inmediato, apreciaron a finales de los años 70. Los programas interactivos permiten analizar los datos de manera secuencial, de forma que los resultados de una etapa pueden utilizarse para decidir lo que se hace en la etapa siguiente, sin que ello exija largas esperas intermedias. La mayor parte de los programas actuales pueden ser utilizados de forma interactiva.

A finales de los años 70, algunos estadísticos, estimulados por el trabajo pionero de Tukey (1977), *Exploratory Data Analysis*, defendieron el uso de

programas interactivos para la exploración de datos sin modelos preconcebidos, adaptando para ello algunos de los métodos conocidos y desarrollando otros nuevos, en un intento de permitir que los datos "hablen por sí mismos" y sugieran relaciones, dependencias o interacciones que resulte interesante analizar con más detalle. En una etapa posterior, una vez intuídos los rasgos fundamentales de los datos, se podría proceder a formalizar modelos y obtener conclusiones cuantitativas precisas. Esta forma de trabajar, requería una versatilidad interactiva y una capacidad gráfica de la que los paquetes de programas tradicionales claramente carecían.

La década de los 80 es la del ordenador personal. Por un precio moderado, cualquier profesional puede tener ahora sobre su mesa mayor capacidad de cálculo de la que tenía toda la Universidad en los años 60. Al principio, esto se tradujo simplemente en la adaptación de los paquetes de programas tradicionales para su uso en ordenadores personales (el *SPSS* es un paradigma de esta actitud). Sin embargo, la capacidad gráfica de las estaciones de trabajo personales pronto desbordó tales planteamientos, haciendo obsoletos tales programas y dando lugar a una nueva generación de programas de análisis de datos, específicamente diseñados para trabajar de forma gráfica e interactiva; (*Data Desk* sobre Macintosh y *Mathematica* sobre Macintosh o sobre Next tipifican bien la nueva generación).

Con estos nuevos programas, de uso sorprendentemente sencillo debido a una inteligente y consistente *interface* gráfica y a la implementación de sofisticadas ayudas electrónicas *on line*, un médico o un biólogo pueden explorar *sus* datos experimentales o clínicos por sí mismos, de forma eminentemente creativa. La posibilidad de que el propio experto en el tema puede realizar el análisis de datos es esencial; un conocimiento profundo del *contexto* en el que se encuadran los datos hace mucho más probable que se descubran relaciones importantes en el *proceso* de analizar los datos que en la simple observación de una tabla de resultados estadísticos, o de una colección de representaciones gráficas.

Elementos esenciales de este *análisis exploratorio*, como son la detección e interpretación de observaciones atípicas (*outliers*), el descubrimiento de transformaciones que permiten trabajar en métricas sugestivas, la detección de subpoblaciones homogéneas (*clusters*), el tratamiento apropiado de las observaciones incompletas (*missing values*) e incluso la identificación de posibles modelos probabilísticos o de hipótesis estadísticas relevantes, adquieren una dimensión totalmente nueva cuando el médico o el biólogo que ha diseñado el experimento o recogido las historias clínicas es quien los realiza.

### 3. TEORIA DE LA DECISION

Naturalmente todo análisis de datos se realiza, en el límite, con objeto de aprender sobre la realidad para mejorar nuestras posibilidades de *actuar* sobre ella. El resultado final de una investigación biológica puede ser un nuevo plaguicida o una mejor protección de una especie en peligro; las consecuencias de una investigación médica pueden modificar el tratamiento que reciben numerosas personas y con ello su esperanza de vida.

Para utilizar un eufemismo, resulta 'sorprendente' comprobar que en la formación técnica de profesionales que tendrán en sus manos decisiones cruciales para la vida de muchas personas no se incluya sistemáticamente una descripción de los contenidos básicos de la moderna teoría de la decisión. Esto es así a pesar de que, como se sabe, los principios básicos de la teoría de la decisión pueden explicarse con matemáticas muy elementales, son intuitivos, y existen libros de texto apropiados, incluso en castellano (e.g. Lindley, 1977, Bernardo, 1981).

La razón hay que buscarla, curiosamente, en lo que debería ser un argumento adicional para introducir en los programas la teoría de la decisión; en el hecho de que los principios de la teoría de la decisión proporcionan unos *fundamentos* teóricos a los métodos estadísticos. En efecto, tales fundamentos llevan inexorablemente a una interpretación probabilística de la incertidumbre y, por lo tanto, a una postura Bayesiana; pero la tradición clásica, la inercia histórica, pesan demasiado en la enseñanza de la Bioestadística. Bajo el argumento (correcto) de que los estudiantes deben conocer las técnicas clásicas porque son (todavía) las habitualmente utilizadas en las aplicaciones, se infiere (falazmente) que debe ignorarse la metodología Bayesiana, se enseñan *exclusivamente* los métodos clásicos (ignorando conocidos contraejemplos) y, lo que es pragmáticamente mucho más grave, se priva a los futuros médicos y biólogos de conceptos básicos que les permitirían afrontar con mayores garantías los graves problemas de decisión a que deberán enfrentarse en su vida profesional.

### 4. CONCLUSIONES

Por una parte, como el Profesor Cuadras apunta en su trabajo, es urgente intensificar el uso de la informática por parte de los futuros médicos y biólogos. Pero, de acuerdo los argumentos antes expuestos, es importante introducirles directamente en los métodos interactivos y gráficos de *última generación* y acostumbrarles a trabajar desde el principio con *datos reales* no depurados, cuyo contexto estén en condiciones de entender.

Por otra parte, el uso inteligente de la información obtenida de un análisis de datos sofisticado exige unos conocimientos mínimos sobre *teoría de la decisión* y, en particular, sobre la metodología Bayesiana. Es pues urgente introducir en la docencia *programas mixtos* en los que, como es habitual en otras áreas científicas, se explique abiertamente a los alumnos que coexisten distintas escuelas de pensamiento, en los que se les expliquen los rudimentos de la teoría de la decisión y en los que se les prepare para entender los nuevos desarrollos teóricos que continuamente se derivan de la metodología Bayesiana. Permanecer anclados en unos programas docentes que esencialmente fueron desarrollados en los años cincuenta es difícilmente comprensible a finales de siglo.

## REFERENCIAS

- BERNARDO, J. M. (1981). *Bioestadística, una perspectiva Bayesiana*. Barcelona: Vicens-Vives.
- LINDLEY, D. V. (1977). *Principios de la Teoría de la Decisión*. Barcelona: Vicens-Vives.
- BERNARDO, J. M. (1989). Análisis de datos y métodos Bayesianos. *Historia de la Ciencia Estadística* (S. Rios, ed.) Madrid: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, pp. 87-105.
- TUKEY, J. W. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.

## SOFTWARE

- Data Desk*. Odesta Corporation. 4084 Commercial Avenue. Northbrook, Illinois 60062, U.S.A. Requiere Apple Macintosh.
- Mathematica*. Wolfram Research, Inc. P. O. Box 6059. Champaign, Illinois 61821, U.S.A. Requiere Apple Macintosh o Next.

## COMENTARIO

M.<sup>a</sup> DEL CARMEN CAROLLO LIMERES

Universidad de Santiago

Estoy completamente de acuerdo con el Profesor Cuadras en que la enseñanza de la Bioestadística en Medicina y Biología debe desarrollarse a lo largo de dos cursos, el primero obligatorio y el segundo optativo, sin embargo en algunas Universidades, entre ellas la de Santiago, sólo disponemos de una asignatura obligatoria en primer curso. En el caso de que haya una sola asignatura en toda la licenciatura, yo creo que ésta debería impartirse en uno de los últimos cursos pues en ese momento cuando el alumno comienza a ver su utilidad.

Como en esta Universidad sólo podemos impartir la asignatura obligatoria, mis comentarios se enfocarán a ella.

Me parece bien tanto el contenido general de la asignatura como el enfoque presentado por el Profesor Cuadras y sólo voy a recalcar algunos aspectos que considero fundamentales a la hora de formar, en esta materia, a un futuro Biólogo o Médico.

Dado que nuestros alumnos no están en ese momento motivados hacia la asignatura, debemos empezar por plantear algunos problemas usuales en estudios biológicos (o médicos), resaltando la necesidad de utilizar herramientas estadísticas para llegar a conclusiones con un cierto grado de fiabilidad.

Teniendo en cuenta además que, en general, el alumno tiene una base matemática muy elemental, iremos desarrollando la asignatura poniendo muchos ejemplos prácticos, a poder ser reales, evitando, en la medida de lo posible, las grandes demostraciones y desarrollos teóricos, pero sin perder el rigor matemático de la materia.

Antes de entrar de lleno en la parte de la Inferencia Estadística, debemos dar un tema dedicado a la teoría de muestras, en el que expondremos con sencillez, los tipos de muestreo más usuales y resaltaremos, con la ayuda de ejemplos, la importancia de una buena elección del tipo a utilizar. Con este tema, pretendemos concienciar al alumno de la necesidad de una

buena toma de muestras, para que las inferencias que se vayan a realizar sean fiables.

En relación con la Inferencia Estadística y teniendo en cuenta el fácil acceso a programas de ordenador del tipo BMDP o SPSS, yo no insistiría en la expresión del estadístico a utilizar sino en la interpretación de los resultados. Me parece fundamental insistir en la importancia del planteamiento correcto de la hipótesis nula, o hipótesis a contrastar, pues el alumno se lanza a aplicar una prueba estadística a los datos y al final no sabe lo que acepta o rechaza. Debemos insistir también en lo que significa intuitivamente el coeficiente de confianza asociado a la estimación por intervalo, así como el nivel de significación correspondiente a un contraste de hipótesis.

Me parece también de especial interés el hacer hincapié en la necesidad de comprobar, de alguna manera, si los datos cumplen las hipótesis requeridas por el estadístico que se va a utilizar.

Se debe también iniciar al alumno en la utilización de las pruebas no paramétricas paralelas a las paramétricas ya estudiadas. En este punto, debemos hacer notar que si bien los tests no paramétricos no requieren ninguna hipótesis para su utilización, son en general menos potentes que los correspondientes test paramétricos, de ahí la conveniencia de utilizar estos últimos siempre que sea posible.

## **La Enseñanza de la Estadística en España en el área de Bioestadística**

JOAN DEL CASTILLO

Secretario Técnico de COU de la UAB

### **1. INTRODUCCION**

Quisiera destacar, en primer lugar, la acertada decisión de plantear el tema de la enseñanza de la estadística en España. Estamos viviendo momentos de cambio en la universidad española y, por tanto, es conveniente reflexionar sobre el posible desarrollo de los acontecimientos. Espero que mi modesta contribución pueda tener algún interés en este sentido.

El artículo de Carles Cuadras sobre la docencia de la bioestadística en medicina y biología me parece perfectamente ajustado a la realidad de nuestro país y, además, extrapolable a otras muchas situaciones de la

docencia de la bioestadística y de otras ramas de la estadística. Coincido plenamente con su visión de la estadística como ciencia interdisciplinaria, con el papel esencial que juega en gran parte de la investigación actual, con la importancia de la informática y de los paquetes estadísticos en la docencia de la estadística, con el énfasis que debe hacerse en la correcta interpretación de los resultados... También coincido en constatar la débil base matemática de los alumnos y, lamentablemente, en la mediocridad del tercer ciclo en nuestras universidades.

Distintos problemas complicaron, en el pasado, el desarrollo científico del país. En el caso de la estadística hay que añadirles además el hecho de no contar con una titulación específica. La rígida estructuración de las enseñanzas universitarias en facultades, hasta el nacimiento de la LRU, ha hecho muy difícil la información de especialistas en materias claramente interdisciplinarias como es el caso de la estadística. Se imparte estadística en la mayoría de las facultades: Medicina, Biología, Veterinaria, Economía, Psicología, Sociología, Matemáticas, Física, etc. Es, en cambio, difícil cursar en ningún lugar más de una o dos asignaturas de esta especialidad. Por esta razón la situación que nos plantea Cuadras de una asignatura obligatoria y una de optativa ha sido ideal en estos últimos años. No obstante, queremos ser optimistas y mirar con ilusión el futuro. Estamos en época de cambios. Hay que dar el salto definitivo que nos coloque en el nivel que la sociedad necesita.

## 2. ¿QUE ES LA ESTADÍSTICA?

Antes de discutir con cierto detalle sobre la enseñanza de la estadística conviene preguntarse: ¿qué es la estadística?. Según cuál sea la respuesta se enfocará de una forma u otra su enseñanza. Las opiniones son diversas: La estadística es recoger y almacenar datos, la estadística es analizar datos, la estadística es una parte de las matemáticas, la estadística es una nueva forma del pensamiento humano...

John Neter (1986) en su discurso presidencial, como presidente de la American Statistical Association, destaca que en la celebración del quinto aniversario de Science se trató de identificar los 20 descubrimientos más importantes en ciencia, tecnología y medicina del siglo XX, por su impacto sobre la forma de vivir y de pensar sobre nosotros mismos y sobre el mundo que nos rodea. Entre los 20 descubrimientos identificados se encuentran la teoría de la relatividad de Einstein, el descubrimiento de los plásticos, la estructura del DNA y el desarrollo de K. Pearson del test de bondad de ajuste. Este test fue destacado para representar la contribución

de los estadísticos en el cambio de forma de razonar, experimentar y formar nuestras opiniones sobre el mundo.

El cambio de mentalidad que representa la estadística está ligado a la lógica inductiva – la lógica del 95 %. La lógica inductiva, como paso de lo particular a lo general, está opuesto a la lógica deductiva que es la propia de la matemática.

La estadística tiene todos los componentes de una ciencia, en el sentido de observar la realidad, dar un modelo de ella y contrastar luego este modelo. pero a menudo el trabajo del estadístico tiene algo de arte y/o de oficio. El estadístico debe escoger entre los modelos que conoce aquel que mejor se adapte para diseñar una experiencia o analizar unos datos.

En nuestra opinión la estadística es una ciencia joven, diferenciada de las demás ciencias, como la física, la economía o las matemáticas. Su metodología es de gran utilidad tanto en las ciencias experimentales como en las ciencias humanas. Representa un modelo riguroso de la lógica inductiva y en este sentido se opone a la matemática, a pesar de estar asentada sobre ella.

### **3. ENSEÑANZA DE LA ESTADÍSTICA EN CIENCIAS BIOLÓGICO-SANITARIAS**

La investigación en temas biológico-sanitarios y en ciencias sociales descansa cada vez más sobre la metodología estadística. Cuadras nos muestra, con la opinión de distintos expertos y con varios trabajos realizados sobre este particular, como los artículos de investigación de tipo cuantitativo van ganando posiciones frente a los de tipo cualitativo. Por esta razón es cada vez más importante disponer de una asignatura obligatoria que sienta las bases de esta estructura mental que constituye la metodología estadística como herramienta esencial del método científico.

No es éste el lugar adecuado para hablar de la enseñanza en los niveles elemental y medio pero no debe olvidarse la importancia de la actual división del COU en cuatro especialidades: científico-tecnología, biológico-sanitaria, ciencias sociales y humanista-lingüística. La actual estructura obliga a estudiar estadística, en la asignatura de Matemáticas II, a los alumnos que encaminarán sus pasos hacia la sociología, economía, psicología, etc. Sin embargo los que seguirán estudios biológico-sanitarios no pueden, ni tan solo de forma optativa, disponer de esta posibilidad, solo pueden optar por la elección de Matemáticas I. A nuestro entender, esto es un error. La asignatura optativa de Matemáticas II de COU sería mucho

más apropiada para los alumnos de la especialidad biológico-sanitaria, e incluso debería plantearse la posibilidad de hacerla obligatoria.

La enseñanza de la estadística como asignatura obligatoria en las especialidades biológico-sanitarias, a las que antes nos referíamos, debería realizarse a nuestro juicio, en el primer curso de la carrera. Somos conscientes de los inconvenientes que esto plantea: alumnos poco motivados, cursos excesivamente numerosos, base matemática débil, etc. Sin embargo, esta situación tiene otras ventajas claras. Los alumnos en primer curso recuerdan con mayor claridad los conceptos matemáticos aprendidos en la enseñanza media. Hay que recordar que la enseñanza de las matemáticas siempre se produce de una forma encadenada y una rotura temporal de esta cadena puede llevar a situaciones irreversibles. Además, consideramos que la metodología estadística es la mejor forma de pensamiento sobre la que asentar los conocimientos futuros del alumno.

Quisieramos mencionar también que a menudo se han utilizado las asignaturas de matemáticas y de estadística como filtro para seleccionar a los estudiantes. Sin duda las disciplinas que precisan un cierto grado de abstracción son apropiadas para este propósito. Siempre nos ha disgustado que se utilice la estadística para jugar este papel represor, en cierta medida clandestino. Si se quisiera seleccionar a los estudiantes, por la escasez de plazas o por la razón que fuere, que se plantee abiertamente la cuestión. Nos gustaría que la estadística se impartiera en razón de su importancia real y se viera siempre libre de esta servitud.

Centrándonos en el contenido de esta asignatura obligatoria, el enfoque de Cuadras nos parece el más apropiado. Estamos completamente convencidos de la importancia de la informática como instrumento de trabajo y como instrumento didáctico. Estamos también de acuerdo en que el énfasis del curso debe ponerse en la correcta interpretación de los resultados, más que en la justificación de los métodos comunmente empleados. Queremos insistir en la importancia de los ejemplos reales en la formación estadística. Los ejemplos relacionados con la especialidad que ha escogido el estudiante, en nuestro caso los ejemplos biológico-sanitarios, quedan fijados en su mente de una forma más clara que las simples abstracciones. Tal vez la razón se deba a cuestiones de afinidad, tal vez a la importancia de una correcta base intuitiva previa a toda abstracción. De cualquier forma nos parece un hecho incontrovertible: con ejemplos reales el estudiante aprende mejor.

Hemos hablado, por el momento, de la importancia de una asignatura de estadística obligatoria en el primer curso de las carreras biológico-sanitarias. Sin duda es interesante disponer de otra asignatura de estadística para aquellos alumnos que manifiestan un interés especial hacia la

matemática y la estadística. Cuadras nos habla de la importancia que ha tenido, a nivel de todo el estado español, la asignatura optativa que se inició en 1976 en la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona. Estamos de acuerdo con la importancia, pero, ¿es esto suficiente?

Tal vez, hasta ahora, contar con dos asignaturas ha sido incluso en ciertos aspectos vanguardista. Sin duda, actualmente se necesitan especialistas con una formación estadística superior para llevar a cabo investigaciones sobre problemas biológico-sanitarios y especialistas con una formación aún mucho mayor para impartir las clases y resolver las dudas de los investigadores anteriores. Para ilustrar, en cierto modo, la importancia de la estadística y el nivel necesario para la investigación expondremos a continuación un simple ejemplo del campo de la veterinaria.

Las razas de animales utilizadas en la alimentación humana son, en nuestro país, generalmente de importación. Unas veces se compran los reproductores en el extranjero, otras veces se insemina con semen importado de otro país. A pesar de los esfuerzos realizados en mejora animal por el ministerio correspondiente, el ganadero y el granjero tienen más confianza en los productos que llegan del exterior y que, por otra parte, pueden alcanzar un precio hasta diez veces superior.

La introducción de estas nuevas razas lleva consigo además, la necesidad de importar su alimentación. El maíz, la soja y otros productos de la alimentación animal no son frecuentes en nuestros campos y su importación es, después de la del petróleo, una de las causas principales de la salida de divisas del país. En el terreno de la selección y mejora animal queda pues mucho por hacer, desde estudiar razas autóctonas hasta adquirir un prestigio en la selección y mejora de las razas ya importadas entre nuestros propios granjeros y ganaderos.

Los métodos empleados en selección y mejora animal son generalmente modelos lineales, especialmente los modelos de componentes de la varianza. Estos modelos no pueden ser estudiados por el método clásico de mínimos cuadrados, que podría llevar a estimaciones negativas de las varianzas. Hay que acudir pues a métodos de máxima verosimilitud y de máxima verosimilitud restringida con sus correspondientes distribuciones asintóticas para contrastar hipótesis. Si añadimos que el número de datos que deben manejarse en estos problemas puede superar las posibilidades de muchos ordenadores y que, por tanto, se necesita una gran formación informática, fácilmente se llega a la conclusión que dos asignaturas no bastan para la formación de un investigador.

Tampoco es necesario insistir con muchos ejemplos, es suficiente con observar la importancia que tienen en otros países la enseñanza de la

estadística en los cursos de tercer ciclo de las especialidades biológico-sanitarias y la gran importancia de los departamentos de estadística, algunos con más de cincuenta años de antigüedad.

#### 4. EL DEPARTAMENTO DE ESTADÍSTICA

El departamento de estadística debe ser la pieza clave de la enseñanza superior de la estadística. Para mantener esta tesis resumiremos aquí algunas de las ideas fundamentales que ha desarrollado Kempthorne (1980) sobre este tema, después de una de las más brillantes y dilatadas dedicaciones a la investigación y a la docencia de la estadística y de la genética.

En opinión de Kempthorne, las ventajas de un gran departamento que imparta todos los cursos de estadística son las siguientes: hay menos proliferación de cursos, particularmente en los niveles más elementales; es posible una mejor estructuración de las secuencias de cursos; se produce una continua interrelación entre estadística "pura" y "aplicada"; se evita el difícil problema de incomunicación de los estadísticos entre ellos mismos.

También nos señala Kempthorne los inconvenientes de esta situación: menor relación entre profesores y alumnos, dificultad de mantener un profesorado realmente interesado en esta actividad interdisciplinaria, inadecuada atención a las necesidades de los usuarios con respecto a nuevos cursos.

Mi experiencia docente abarca las licenciaturas de matemáticas, informática, veterinaria, económicas, sociología y ciencias políticas. Tal vez por esta razón hablo de estadística en lugar de bioestadística, biometría, psicometría, econometría, etc. Sin duda un primer curso para estudiantes de biología, economía o sociología no puede ser el mismo. Hemos insistido ya en la importancia de los ejemplos reales y adaptados a los estudiantes que asisten al curso. Lo que en realidad defendemos es que la formación del profesor que imparte uno de estos cursos puede ser aproximadamente la misma. Por esta razón y para evitar el aislamiento de los profesores de estadística que impide su correcta formación, defendemos su unificación en un gran departamento.

Naturalmente el objetivo de un departamento va mucho más allá de la docencia. El departamento organiza la investigación y, en el caso de la estadística, debe organizar a su vez la consulta de los usuarios.

Investigación, docencia y servicios externos son los tres objetivos de un departamento de estadística. El trabajo aplicado conduce a problemas teó-

ricos y los problemas teóricos producen nuevos resultados aplicados y ambos producen la evolución de los programas docentes. Con esta interrelación se obtiene una buena docencia y una buena formación del profesorado. Finalmente con un departamento fuerte pueden organizarse estudios de diplomatura y de tercer ciclo que formaran los profesionales que la sociedad necesita. Tenemos distintos ejemplos en Europa y en el resto del mundo de que con un gran departamento de estadística se obtienen importantes programas de formación para postgraduados.

La actual estructuración de la universidad en departamentos, después de la LRU, proporciona el instrumento apropiado para unir los esfuerzos de pequeños grupos que trabajan en estadística dispersos en facultades y escuelas universitarias. Se han creado ya bastantes departamentos de estadística y, aunque la situación no es general, creemos que puede mirarse el futuro con un cierto optimismo.

## 5. EL PROBLEMA DE LAS CONSULTAS

Hemos hablado ya de la importancia de la estadística en gran parte de las investigaciones biológico-sanitarias y de ciencias sociales y de como los métodos cuantitativos van ganando lugar frente a los cualitativos. Por esta razón las consultas a los profesores de estadística son cada vez más numerosas, llegando fácilmente a desbordar sus posibilidades. Hay que plantearse pues un método para racionalizar esta situación. Lo más apropiado parece la creación de un *laboratorio de estadística* como un servicio de la universidad, al igual que existe un centro de cálculo o un servicio de microscopía electrónica. El laboratorio debería estar coordinado por un profesor del departamento de estadística y lo formarían profesores del departamento que dispondrían de una liberación parcial o total de sus funciones docentes, según su dedicación a las consultas.

La organización de un laboratorio de estadística relacionado con el departamento planteará naturalmente dificultades. Es importante pensar en la valoración que tendrán sus miembros – consideramos tan importante saber resolver problemas prácticos como conocer el teorema de Radon-Nikodym, por ejemplo. Hay que pensar en la organización administrativa, el director del laboratorio tendrá responsabilidad frente a distintos decanos y directores de departamento.

No pretendemos tener solución a todos los problemas ni creemos que exista una solución óptima y válida para todas las situaciones. Habrá que estudiar los distintos modelos que funcionan en distintas universidades y adaptarse a cada caso particular. Estamos convencidos, sin embargo, de la necesidad de plantear y resolver el problema de las consultas. Mejorará con

ello notablemente la investigación en general y a corto plazo será también de utilidad para el mundo empresarial y la sociedad en su conjunto. Estamos en un buen momento para lograrlo, no deben desaprovecharse las oportunidades.

## 6. CONCLUSIONES

La metodología estadística es básica en gran parte de la investigación experimental y de la investigación en ciencias sociales en la actualidad. Por otra parte, la demanda social de conocimientos estadísticos es cada vez más importante. Es indispensable, por tanto, plantear la formación de profesionales de la estadística en los niveles de diplomado y posgraduado.

El instrumento básico para la docencia, la investigación y el asesoramiento estadístico debe ser el departamento de estadística. Este departamento debería agrupar a la mayoría de los especialistas que se hallan, en ciertos casos, repartidos por facultades y escuelas universitarias. La concentración de especialistas permitiría entonces la organización de un tercer ciclo realmente competitivo.

Finalmente, a partir del departamento de estadística debe organizarse un laboratorio de estadística que funcione como un auténtico servicio universitario. Podría de esta manera encauzarse el problema de las consultas dentro de la universidad y a la vez ofrecer un servicio a la sociedad en general.

## BIBLIOGRAFIA

- C. CUADRAS, *Docencia de la Bioestadística en Medicina y Biología*, Estadística Española (1990).
- O. KEMPTHORNE, *The Teaching of Statistics: Content Versus Form*, The American Statistician **34** n. 1 (1980), 17-21.
- O. KEMPTHORNE, *The Future of Departments of Statistics*, Iowa State University.
- J. NETER, *Boundaries of Statistics-Sharp or Fuzzy?*, Journal of the American Statistical Association **81** n. 393, 1-7.

## COMENTARIO

### M.<sup>a</sup> PURIFICACION GALINDO VILLARDON

Unidad de Bioestadística  
Universidad de Salamanca

El hecho de que la Revista "Estadística Española" dedique dos números al tema de la enseñanza de la Estadística en España me parece sumamente interesante, pues ello permitirá que los distintos profesionales comuniquen sus experiencias y lo que es más importante, que todos tengamos oportunidad de conocerlas.

Las opiniones del Profesor Cuadras en relación a la "Enseñanza de la Bioestadística en Medicina y Biología" traducen el punto de vista de un gran profesional con larga experiencia en la enseñanza de esta materia. Esta se hace patente no sólo en la selección de contenidos sino sobre todo en el enfoque que propone para los mismos.

Generalmente los matemáticos intentan transmitir los conceptos abstractos que aprendieron en su Facultad de Matemáticas, sin embargo los alumnos, y no sólo ellos sino también los Médicos y Biólogos, se resisten a los temas presentados en forma de lemas, teoremas y corolarios...; prestan toda su atención cuando al presentarles las técnicas, se les habla de sus ventajas y aplicaciones y también de sus inconvenientes y restricciones.

Exigir al médico un conocimiento profundo de cada técnica para poder aplicarla sería algo así como exigirle que para administrar un fármaco conociese todas y cada una de las reacciones bioquímicas que se producen en el organismo al actuar ese producto.

Que todos los alumnos conozcan un paquete estadístico básico es absolutamente deseable pero en muchos casos sigue siendo una utopía dada la masificación de alumnos, el tiempo disponible, la falta de profesores y de medios informáticos.

En Salamanca el mismo equipo imparte docencia en Biología y Medicina; el programa de la asignatura básica que se imparte en primero (el mismo en ambas Facultades) es similar al propuesto por el Profesor Cuadras.

En Biología se imparte durante todo el curso académico a razón de 6 horas a la semana, sin embargo en Medicina la asignatura es cuatrimestral.

Las clases son teórico-prácticas y durante un par de semanas completan

sus formación con el manejo de un paquete estadístico básico.

Las prácticas son voluntarias y asisten unos 150 de los 600 alumnos matriculados en ambas Facultades.

La falta de recursos humanos (sólo hay un Profesor Titular y un Profesor Ayudante) hace inviable el impartir prácticas a todos los alumnos.

Los alumnos aprenden primero la teoría y la ponen en práctica con la resolución de problemas relacionados con su especialidad. Las prácticas con ordenador se hacen después de saber resolver los problemas manualmente.

Desde mi punto de vista aprender directamente sobre la máquina dificulta la comprensión de los conceptos. Por ejemplo si el alumno no conoce el test ji-cuadrado pero lo aplica con un paquete estadístico ¿cómo puede comprender el incremento en el riesgo tipo I cuando las frecuencias son bajas?

En Medicina puede ser una solución ya que en un cuatrimestre es prácticamente imposible impartir el programa y completarlo con las prácticas, sin embargo en Salamanca donde sólo 2 profesores han de impartir 3 asignaturas y atender a más de 500 alumnos es también inviable.

En Biología se imparte desde 1987 una asignatura optativa Ampliación de Bioestadística, en quinto, durante todo el curso académico; la matrícula crece considerablemente cada año. Probablemente demasiado.

Los contenidos son también similares a los que el Profesor Cuadras señala en las asignatura de Ampliación. En esta asignatura cada alumno trabaja con un ordenador.

Los alumnos al llegar a quinto han olvidado gran parte de los conocimientos adquiridos en primero, por esta razón el primer cuatrimestre se dedica a conseguir una "puesta a punto".

Estos alumnos distribuidos por los Departamentos hacen una gran labor en el tratamiento estadístico y son los interlocutores válidos con la Unidad de Bioestadística.

Existe, también, un tercer ciclo específico de Bioestadística al cual acceden Biólogos que han cursado Ampliación de Bioestadística, Matemáticos y algún Médico.

Desde nuestra experiencia una asignatura anual y otra optativa es la solución idónea. Una asignatura cuatrimestral es una mala solución que nos preocupa puesto que la política de los nuevos planes de estudio va en esa línea.

Un problema adicional, de gran trascendencia desde mi punto de vista, es que los profesionales de la Bioestadística estamos desperdigados, cuando menós, en cuatro Areas de Conocimiento.

Las Facultades de Biología carecen de dotaciones humanas y materiales (salvo honrosas excepciones) imprescindibles para poder impartir docencia a niveles aceptables; el Profesor de Bioestadística está "perdido" en un Departamento que generalmente nada tiene que ver con esa materia; eso dificulta su formación, su promoción y cuanto de ellas se deriva.

Curiosamente, en las Facultades de Medicina donde la carga docente suele ser menor, las dotaciones son mejores en general.

La dispersión de los Profesores dificulta, sin duda, la unificación de criterios a la hora de la enseñanza de la materia.

## La enseñanza de la estadística en Medicina

ANTONIO GARCIA RENDON

Facultad de Medicina  
Universidad de Cádiz

Creemos no equivocarnos mucho si afirmamos que la asignatura de Bioestadística es la más reciente de todas en los planes de estudio de las distintas Facultades de Medicina de España; sin embargo, no es ajeno a la evolución y al progreso científico en Medicina el método estadístico, detalle que vuelve a poner de manifiesto algo habitual en nuestro medio: cierta asincronía, cierto desfase, todo un canto a la ley de la inercia. Lleva en Medicina esta materia unos veinte años; no tiene, por consiguiente, una enorme tradición. Es, por otra parte, una materia que desde su instauración no estuvo mayoritariamente en manos de licenciados en Medicina, sino en las de licenciados en otras materias, preferentemente matemáticos. Por razones probablemente históricas, se colocó la asignatura al principio de la licenciatura, en primero o en segundo curso, y se, de acuerdo al muy asentado criterio existente en las Facultades de Medicina, catalogó —consecuentemente— de "preclínica". Ésta es, en resumen, la realidad de la enseñanza de la Estadística a los futuros médicos. Vamos a intentar desarrollar brevemente cada uno de los puntos aludidos.

¿Está plenamente justificada la presencia de la Bioestadística en los planes de estudio de Medicina?. Creemos que es la primera pregunta a la que hay que responder, afirmativamente además, para que sea lícito el continuar. Si la necesidad se plantea estimando lo que le es estrictamente imprescindible a un futuro profesional de la Medicina, hay que ser sinceros y decir que no. Como consuelo y descargo, habría que decir que no a otros contenidos habituales de los planes de estudio de Medicina, ya a materias completas, ya a la extensión con que otras se prodigan. Este punto concre-

to de que no es imprescindible la Estadística en la formación de un médico no puede olvidarse jamás y debe ayudar al profesor de la asignatura a "saber estar". Afortunadamente, ningún plan de estudios se plantea pensando en lo estrictamente necesario; además de eso, se cuentan otras cosas: complementos, metodologías, etc. Así, sí cabe la Estadística en Medicina, y, por cierto, en un puesto de honor; esa situación honrosa no sería privativa de Medicina: a nuestro entender, sería igual en otras Ciencias de la Salud y de la Vida, en Ciencias Sociales, en fin, en casi cualquier ciencia experimental, de la que, a fin de cuentas, el método estadístico es su propio método científico.

¿Qué contenidos hay que transmitir?. La respuesta a esta pregunta está íntimamente ligada a ciertos detalles técnicos además de depender, obviamente, de los objetivos docentes que se pretendan. Los detalles de los que se habla son: carácter obligatorio u optativo de la asignatura, existencia o no de una única asignatura, ubicación en la licenciatura y quizá otros. Comencemos por lo fundamental: el objetivo docente primordial es esencialmente divulgativo. Es un hecho que en el Bachillerato español no se enseña Estadística. El nuevo COU, con sus múltiples versiones y con la nueva asignatura de "Matemáticas II" ha intentado paliar el problema pero, creemos que, cara al futuro estudiante de Medicina, nada ha conseguido: en efecto, éste suele provenir de las opciones A y B, donde no existe la posibilidad de cursar esa asignatura de nueva creación. Ese carácter divulgativo de la asignatura debe traducirse, a nuestro juicio, en: primero, al alumno debe instruírsele adecuadamente en la comprensión de los fenómenos aleatorios, ante los que, de alguna forma, se enfrenta por vez primera; el estudiante debe, en segundo lugar, aprender a recoger, representar y resumir datos cuantitativos y cualitativos; tras una brevísima incursión por los conceptos de probabilidad, de variable aleatoria y de función de distribución, debe estudiar las fundamentales ideas de población y muestra, en donde, con la insistencia que fuese necesaria, debe explicársele el carácter experimental por antonomasia del método estadístico ya que permite extraer conclusiones de lo particular a lo general y cómo esto se basa en ciertos principios matemáticos probabilistas; la parte siguiente debe dedicarse a pasar revista a las herramientas de la Inferencia, estimadores, intervalos, contrastes. Esta parte debe llevarse la mayoría del tiempo disponible de la asignatura. En ella deben evitarse ciertas extravagancias de la Estadística Matemática, que sólo confunden a un alumno que, independientemente del curso adonde le hayan colocado la asignatura, tiene una formación matemática nula y, lo que es peor, un gusto absolutamente negativo por el razonamiento abstracto. Creemos que aquí debe desarrollarse la idea de test o contraste de hipótesis e insistir, por sus aplicaciones epidemiológicas, en las tablas de contingencia. El último punto de la asig-

natura debe centrarse en las ideas de regresión y correlación y en introducir el diseño de experimentos: deberá aquí ser explorado bajo otra perspectiva el modelo básico de análisis de la varianza, que ha podido ser desarrollado con anterioridad como ejemplo de contrastes. Como conjunto de indicaciones generales para la enseñanza, baste decir que debe huirse de cualquier matematización innecesaria; que debe insistirse en el cálculo efectivo manual (aunque sea en "ejemplos de salón") para que el alumno sepa lo que está haciendo, sin que esto sea obstáculo para aprender algo hoy preceptivo: el uso de ordenadores, paquetes de programas, etc.; que es básico que el estudiante aprenda en qué modelo de inferencia encajar (de los poquísimos que realmente da tiempo a enseñar) una situación concreta, o dicho con otras palabras, que aprenda a distinguir bien; y, por último, es esencial el enseñar al alumno, y a las pruebas —las revistas médicas— nos remitimos, qué es lo que nunca debe hacer. Ahora cuadraría perfectamente el decir que debe adornarse la asignatura de ejemplos de tipo clínico, o, al menos, biológico. Esto trae a colación lo que se nombraba a principios de este párrafo: ¿dónde debe ir ubicada, supuesto que hay solamente una, la asignatura?

Nuestra experiencia personal desaconseja encarecidamente su permanencia en primero o segundo curso; nos explicamos: un alumno de primero de Medicina (y tanto da en segundo), busca unos alicientes en estos estudios que, no sólo no se los va a dar una disciplina de naturaleza matemática, sino que, al no tener en esta tan temprana ubicación un marco real al que referirse, se da la circunstancia de ser el profesor (usualmente no médico) el "más médico" del aula. Como indispensable estrictamente para la formación no es, creemos que hay que situarla donde el futuro médico vea que realmente es aplicable y que "sirve". ¿Y para qué sirve?: La utilidad vendrá de la abundancia de jerga estadística en la literatura médica, de la previsible necesidad supuesto enfrentado el alumno a una investigación en Medicina Clínica, y, por último, como materia que debe conocerse para entender mejor los temas de naturaleza epidemiológica, demográfica y otros: desde hace algún tiempo, nadie discute ya la importancia de estos temas en Medicina. Está claro que, con estos considerandos, la asignatura no debe estar al principio de la licenciatura. Es más bien al final donde debe estar: propondríamos cuarto o quinto curso de la licenciatura actual. Ahí el alumno ya huele algo a médico: en efecto, ya ha comenzado los estudios de patología Médica y de Cirugía; ya ha tenido acceso a revistas donde se presentan tanto ensayos clínicos como otros estudios epidemiológicos (¡y todo cargado de Estadística!); ve el final de su licenciatura y, con ello, la posibilidad de llevar a cabo alguna investigación y la necesidad que tendría de la Estadística. Plantean estos argumentos la necesidad de no considerar la asignatura como preclínica sino como eminentemente clínica. Un detalle casi implícitamente señalado: creemos que

debe existir una única asignatura de Bioestadística y de carácter obligatorio. Con dos horas por semana, durante todo el curso, puede ser suficiente.

¿Y quién explica la asignatura?. Matemáticos la han explicado, en la mayoría de las Facultades, desde un principio. Evidentemente, no son (somos) imprescindibles. Esto ha chocado algo con la mentalidad habitual, tradicional, de las Facultades de Medicina: mentalidad que lleva a una actitud biológica de rechazo de lo que no es médico y que, afortunadamente, va pasando; esperemos que pase igual con el matemático profesor de cursos de Estadística Aplicada. Y así es. Creemos que ningún profesional puede hoy reclamar para los de su gremio la concesión en exclusiva de la enseñanza de la Estadística Aplicada (aplicada a lo que sea: Biología, Medicina, Ingeniería, Sociología, Psicología,...). Es claro, por otra parte, que el matemático puede tener ciertas ventajas sobre otros profesionales: de hecho, conoce mejor las fuentes teóricas del asunto. Es un punto a considerar. Nuestra opinión al respecto escarba en otra parte: ¿En qué medida forman los Departamentos de Estadística, integrados en las Facultades de Matemáticas, estadísticos aplicados?. ¿No va ese prurito teorícista con el que se obra casi contra el mismo espíritu de la Estadística?. Puede pensarse que esa desviación de lo aplicado es intencional. Cabe esa actitud perfectamente aunque, con ella, se pierde fuerza y derecho para pedir la exclusiva en la formación de los estadísticos aplicados. Abogamos por una reforma, no de los planes de estudio de Estadística —dentro, eso siempre, de la licenciatura en Matemáticas, cuyos contenidos teóricos constituyen lo que realmente es formativo, sino del espíritu de los mismos: que la primera vez que un especialista en Estadística se enfrente a un problema con datos reales sea antes de acabar la licenciatura. Eso, a nuestro juicio, bastaría. Porque eso aproximaría el hecho experimental al matemático y le haría captar detalles e ideas de otras formas —no deductivas— de conocimiento. Quizá este enfoque que se propone requiera la colaboración de diversos profesionales.

Esta es, más o menos, nuestra opinión sobre la enseñanza de la Estadística en Medicina. Se basa mucho más en la experiencia asesora de trabajos médicos que en la estricta experiencia docente, explicando, en primero de Medicina, a quienes nulo interés presentan. La labor asesora nos ha mostrado cómo el investigador clínico si considera la Estadística y cómo el profesional en Salud Pública echa en falta una asignatura de Estadística más próxima en todos los sentidos.

## COMENTARIO

M.<sup>a</sup> ANGELES GIL ALVAREZ

Departamento de Matemáticas  
Universidad de Oviedo

Poco puede añadirse al trabajo del Profesor Cuadras en relación con la «Docencia de la Bioestadística en Medicina y Biología», pero estamos interesados en manifestar nuestro punto de vista, aunque ello suponga reiterar en gran medida todo lo expuesto en tal artículo. Nuestra experiencia en dicha docencia se reduce a la correspondiente al Curso Obligatorio y a Cursos de Doctorado, aunque haremos en este comentario una breve referencia al Curso Optativo.

Al encontrarnos dentro de una "Universidad de provincias" (Oviedo), existen algunas desventajas obvias y también ciertas ventajas, en comparación con las Universidades de mayor tamaño. En este sentido, conviene señalar que el grupo de Estadística e Investigación Operativa de esta Universidad tiene la oportunidad de que al menos uno de sus miembros pertenezca al Equipo de Coordinación de Matemáticas de C.O.U. Esta oportunidad nos permite, mediante las reuniones con el Profesorado de Matemáticas de C.O.U. y las visitas realizadas a los distintos centros, mentalizar en lo posible a Profesores y Alumnos sobre el hecho de que Biología y Medicina son dos titulaciones con contenido matemático en varias de sus materias y con gran interés por las aplicaciones estadísticas. Nuestra esperanza es que esta mentalización incida en que los aspirantes a biólogos o médicos elijan las Matemáticas adecuadas en C.O.U.

Por otro lado, la titulación de Biología ha presentado también hasta el momento una ventaja importante sobre la de Medicina: la existencia de un curso obligatorio de Matemáticas previo al curso obligatorio de Bioestadística. En este curso se ha impartido habitualmente una Introducción a la Bioestadística (en la que se ha presentado la Estadística Descriptiva y, ocasionalmente, una introducción al Cálculo de Probabilidades).

Uno de nuestros principales objetivos al introducir el Curso Obligatorio de Bioestadística es que el alumno sepa desde el principio que la Estadística implica una forma de pensar diferente a la de las Matemáticas con las que ha trabajado hasta entonces (en su mayoría Álgebra y Análisis). De

este modo, las reacciones ante la Bioestadística pueden ser muy diversas y en estas reacciones va a tener una influencia muy importante la enseñanza de la misma. Algo que el alumno debe tener bien claro (para eludir argumentos negativos irreales contra la Bioestadística) es que la utilidad de esta materia no es siempre fácil de percibir en los cursos del Primer Ciclo, e incluso del Segundo, de la titulación (en los que, dependiendo de la orientación de las distintas materias, su aplicación se reduce prácticamente a ciertos procedimientos elementales de Contrastes de Hipótesis tradicionales).

Otro de los objetivos, que se pone de manifiesto reiteradamente en los distintos textos o proyectos docentes sobre la Bioestadística, es que un curso sobre esta materia no puede convertirse en un "curso de cocina" en el que se imparta un recetario de fórmulas o un manual estadístico, aunque no deba olvidarse que estamos ante una Estadística Aplicada a la Biología o Medicina y no se necesita incurrir en estudios de Matemática abstracta de alto nivel.

Como señala el Profesor Cuadras, poca es la Bioestadística que se recuerda al finalizar la carrera, pero esperamos que su estudio habrá sido suficientemente útil como para permitir al alumno: *a)* describir sus objetivos de investigación a un estadístico en términos tales que este pueda orientarle técnicamente para alcanzarlos; *b)* leer un trabajo o informe de investigación biológica o médica con la esperanza de comprender la parte de tratamiento estadístico que pueda contener; *c)* aprender o repasar por sí mismo procedimientos que encuentre en los textos o apuntes de Bioestadística. Por otro lado, el alumno tendrá conciencia, después de recibir un curso de Bioestadística, sobre el hecho de que antes de analizar los datos, deben recogerse, y en este punto las consideraciones estadísticas representan una ayuda en el diseño del experimento y en la formulación de las hipótesis para contrastar. De este modo, se evitará la recogida de datos innecesarios o poco informativos para el fin perseguido, o un cambio forzoso de este fin a la vista de los datos disponibles, por lo que una base sobre los principios y métodos estadísticos es importante incluso antes de que comience el experimento.

Tras estos propósitos generales queremos examinar algunos relativos a los distintos temas globales. En relación con la ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA, estimamos también conveniente su impartición previa al resto de la materia, principalmente por servirnos de motivación e ilustración para los demás temas.

EL CALCULO DE PROBABILIDADES constituye para la mayoría de los alumnos el tema más árido y cuya inclusión en la programación de la asignatura cuestionan más a menudo, aduciendo que no es imprescindible

para la comprensión de los temas posteriores. Sin embargo, estos argumentos carecen de validez, aun en el caso en el que se huya de una formalización muy matemática de los métodos estadísticos. En este sentido, es una práctica habitual en la investigación biomédica actual plantear nuevos modelos, o construir nuevos procedimientos estadísticos, con apariencia similar a la de otros modelos o técnicas tradicionales (por ejemplo, modelos de Poisson, contrastes de significación  $\chi^2$  o F de Snedecor, entre otros). Que tal planteamiento o construcción resulte fiable es algo que sólo puede garantizarse cuando el investigador que los lleva a cabo posee ciertos rudimentos mínimos de Cálculo de Probabilidades (fundamentalmente, los relativos a nociones como la *independencia estocástica*, etc.). Por otra parte, la enseñanza del Cálculo de Probabilidades goza de una ventaja importante en comparación con otros temas de Matemática abstracta: todos los conceptos básicos (*espacio probabilístico, variable aleatoria, función de distribución, clasificación de variables aleatorias*, etc.) pueden introducirse con motivaciones muy intuitivas que justifican las posibles restricciones matemáticas en las definiciones rigurosas de tales conceptos. Existe además un propósito general para considerarlos: la necesidad de disponer de métodos objetivos que vengan formulados en términos de experimentos genéricos y no de experimentos particulares.

La exposición de la INFERENCIA ESTADÍSTICA es, sin duda, más agradecida que la del Cálculo de probabilidades. En este caso, las motivaciones e ilustraciones surgen de forma espontánea y resulta más fácil mantener la atención de los alumnos y que admitan la utilidad de lo que aprenden. Para reforzar esta atención hay que explotar el "atractivo" de las distintas filosofías en Inferencia (como, por ejemplo, las relativas a los *contrastos de hipótesis*) y la intuición subyacente a los términos empleados. Así, como apunta el Profesor Cuadras, lo más interesante es que se sepan interpretar las conclusiones obtenidas sobre el problema a resolver y para ello el alumno debe conocer el significado y cálculo del *nivel crítico* de un contraste (que le vendrá proporcionado, además, por la mayor parte de los programas de los paquetes estadísticos que pueda utilizar), así como la importancia de la magnitud de este nivel en la fiabilidad de las conclusiones.

Consideramos también adecuado, en especial en la titulación de Medicina (por la tradición en este campo de archivar información previa relativa a autopsias, etc.), introducir al alumno en las ideas directrices de la *Inferencia Bayesiana* (enfocada preferentemente de acuerdo con su aproximación más general, y no como un problema de decisión particular). Desafortunadamente, la falta de tiempo suele impedirnos analizar y discutir en detalle las posibilidades de esta aproximación inferencial, pero sí es factible mencionar su existencia y sus elementos esenciales.

La mayoría de las técnicas de Inferencia Estadística pueden ilustrarse con muchos ejemplos que podemos encontrar en los textos de Bioestadística. No obstante, es muy útil aprovechar ahora la información recogida a lo largo de las distintas consultas para asesoría estadística a problemas biomédicos recibidos en el grupo. En este sentido, muchas de estas consultas (que en su mayoría se refieren a estudios regionales de diferente carácter) pueden adaptarse y presentarse como "problemas de clase" que suelen tener muy buena acogida por parte de los alumnos al resultarles sus enunciados más "familiares".

Como señalamos al comienzo, en la Universidad de Oviedo carecemos del Curso Optativo de Bioestadística, tanto en la titulación de Biología como en la de Medicina. Esta carencia obedece, en gran medida, a que los tamaños de los cursos de ambas titulaciones en esta Universidad son mucho más reducidos que los correspondientes a Universidades como las Centrales de Barcelona y Madrid, pero existe, no obstante, gran interés por parte de la Universidad de Oviedo en incorporar dicho Curso Optativo. Hasta el momento, los temas impartidos en el mismo, con arreglo a la programación seguida en la Universidad Central de Barcelona, han venido explicándose en nuestra Universidad a lo largo de distintos Cursos y Programas de Doctorado, pero nuestro deseo es que el contenido de tales temas pase a formar parte de una asignatura, debido a las razones expuestas en la Sección 3 del artículo introductorio y porque en muchas ocasiones los Cursos y Programas de Doctorado se convierten para el alumno en un medio para entrar en contacto con asesores estadísticos que le resuelvan algún problema que tenía planteado de antemano, y no en un medio para aprender nuevos temas y técnicas.

Finalizamos reseñando brevemente que encontramos muy interesantes y bien documentados los comentarios recogidos en la Sección 4 del artículo introductorio y subrayando nuestro acuerdo con los de la Sección 5. Sería conveniente, en relación con los primeros, que no sólo los distintos grupos de Estadística, sino los de las diferentes áreas biológicas y médicas, tuvieran conocimiento de la información contenida en esa sección y en las referencias correspondientes.

## BIBLIOGRAFIA

- ROSNER, B. (1986). *Fundamentals of Biostatistics*. Duxbury Press - PWS Publ. Boston.
- ROWNTREE, D. (1981). *Statistics without tears*. Charles Scribner's Sons - Macmillan. New York.

- STEEL, R. G. and J. M. TORRIE (1985). *Bioestadística*. McGraw-Hill. Bogotá.
- TSOKOS, M. (1987). *Estadística para Biología y Ciencias de la Salud*. Interamericana, McGraw-Hill. Madrid.
- ZAR, J. (1984). *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall. New Jersey.

## COMENTARIO

GUADALUPE GOMEZ

Departament d'Estadística i Investigació Operativa  
Universitat Politècnica de Catalunya

### **¿Por qué es necesario impartir Bioestadística en una carrera de Ciencias Biológicas o en Medicina?**

El lenguaje estadístico está presente por doquier en el contexto socio-económico en que estamos inmersos. No sólo los medios de comunicación utilizan en sus informes una abrumadora información basada en datos sino que las más diversas ramas de las ciencias experimentales, de la vida y sociales basan sus tesis en resultados obtenidos a partir de la recolección de un número determinado de datos. Por este motivo creo que es de importancia primordial en la formación de un universitario el tener conocimiento de este lenguaje. El lenguaje estadístico puede considerarse un subconjunto del lenguaje matemático formal. Y como ocurre con el aprendizaje de cualquier lenguaje uno no sólo debe conocer los nombres sino que debe comprenderlos.

Es necesario distinguir entre la enseñanza de la estadística como disciplina integrante del curriculum de un universitario y la estadística dirigida a un colectivo profesional o científico en particular.

En relación con la estadística aplicada a las Ciencias Biológicas y Médicas considero que la impartición de ésta es de importancia capital. Hay muchas razones que me llevan a afirmar esto. En primer lugar es nuestro deber como enseñantes el proporcionar a nuestros alumnos todas las herramientas que les puedan ser de utilidad para entender el mundo que les rodea. En segundo lugar, un estudiante de biología o medicina debiera finalizar sus estudios con capacidad suficiente no sólo para leer la literatura médica y/o biológica, sino también para evaluarla y criticarla. En tercer lugar, es imperativo promover un diálogo entre el médico y/o biólogo y el profesional de la estadística con el objetivo de alcanzar resultados de más calidad. Como resumen de los puntos previamente citados debemos aumentar y focalizar nuestra atención en ayudar a los estudiantes a evaluar la información, tomar decisiones y evaluar de forma crítica la literatura.

En palabras de Lowe *The information explosion has resulted in a call for an educational process based less on imparting purely factual material to students and more on providing students with the skills they need to be active, independent learners and problem solvers.*

Es importante que el estudiante, futuro médico o biólogo, comprenda los mecanismos de la metodología científica y experimental y por consiguiente su aprendizaje no se reduzca a la recolección y memorización de un sinfín de fórmulas o procedimientos de un paquete estadístico. Estoy de acuerdo con el profesor Cuadras en cuanto a que el método científico es una necesidad inherente a la formación de cualquier médico y/o biólogo. Sin embargo, difiero cuando dice que *la necesidad de hacer comprender la lógica inductiva, cómo se diferencia de la lógica deductiva, y de cómo y por qué la primera está tal fuertemente asociada a la estadística* ya que un planteamiento tan formal del problema es difícilmente comprensible por un alumno con escasa formación matemática.

El planteamiento de la metodología estadística como caso particular del método científico puede impartirse esquemáticamente y reforzarse mediante problemas y case-studies. En cualquier caso el profesor que impartiese esta asignatura de Estadística debería tener muy claro tal planteamiento. Para ello puede leerse el artículo del profesor Peña "On the Logical Development of Statistical Models" aparecido en Trabajos de Estadística, Volumen 3. Número 2. En particular la Figura 1 que aparece en este trabajo podría acompañar la exposición y el desarrollo de la asignatura durante todo el curso. También puede servir para argumentar el posible guión de la asignatura y para dejar constancia de los conceptos y métodos que no se cubrirán.

Coincido también en que la informática es una herramienta fundamental para un planteamiento útil de la asignatura de estadística. Mi opinión, sin embargo, es que se debería intentar que el curriculum de estas licenciaturas contemplase una introducción a la informática de forma que las horas dedicadas a la Estadística no tuviesen que perderse en los rudimentos de las herramientas informáticas y se pudiese comenzar desde el primer día con el aprendizaje en paralelo de un paquete estadístico. Creo que valdría la pena estudiar, de entre el software estadístico que actualmente existe, cuál o cuáles son los programas más apropiados. Mi experiencia personal me llevaría a adoptar un paquete de fácil aprendizaje y manejo, que presentase resultados claros ayudados de buenos gráficos, suficientemente potentes y además implementable en ordenadores personales. No cabe la menor duda que muchos paquetes hoy día ofrecen todos estos requisitos. Entre otros cabe destacar el paquete STATGRAPHICS "Statistical Graphics System" de Statistical Graphics Corporation, STSC, Inc. (1986) y el paquete

STATA "Statistics/Graphics/Data Management" de Computing Resource Center (1989). También valdría la pena discutir sobre las ventajas e inconvenientes, y la necesidad o no de desarrollar el curso con la ayuda de algún software que corra en un gran ordenador (por ejemplo con el MINITAB). Por último, y sólo para alumnos del curso optativo, mencionar que el aprendizaje de algún paquete más potente, como el SPSS, sería aconsejable.

### **Contenido de las asignaturas de Estadística**

La reflexión sobre el contenido de las asignaturas de estadística en una carrera de Biología o Medicina debería empezar por responder a la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las necesidades estadísticas de estos científicos?

Los estadísticos sabemos que nuestra disciplina proporciona herramientas muy útiles como el análisis gráfico de datos, el diseño de experimentos, ...; pero es imprescindible que convenzamos a los médicos, biólogos y profesores de otras materias de la necesidad de ésta. Es fundamental que la comunidad científica que rodea al estudiante y de la cual toma ejemplo esté convencida de la importancia de la metodología estadística para un planteamiento más riguroso y convincente de la ciencia.

El médico y/o biólogo necesitará comprender el concepto de variabilidad y convencerse de la omnipresencia de ésta. El científico debe entender que lo que observa es un valor acompañado de ruido y que la precisión se obtiene reduciendo la variabilidad en el proceso. Para comprender e interpretar dicha variabilidad es necesario la utilización de técnicas visuales y gráficas como por ejemplo histogramas, diagramas de tallo y hojas, box-plots, diagrama de barras, diagrama de sectores, diagrama de raíces, así como las versiones bidimensionales de los diagramas que acabamos de citar. También tendría que aprender a resumir los datos y a presentarlos de forma compacta y clara mediante los estadísticos más usuales: media, desviación estándar, mediana, cuartiles...

A continuación tiene que comprender los conceptos básicos de la inferencia estadística. Es importante insistir una vez más en el planteamiento del problema y enseñar a discernir entre la utilidad de una estimación por intervalos de confianza, la decisión como resultado de una prueba de hipótesis, y a identificar aquellas situaciones en que la variabilidad del problema quedaría bien explicada mediante un modelo de regresión, o cuando por el contrario nos encontramos delante de una comparación de las medias de varias poblaciones y por consiguiente un análisis de la varianza sería el camino a seguir. Yo no insistiría demasiado en los fundamentos matemático-probabilísticos que nos llevan a afirmar que tal o cual

estadístico tiene una distribución normal independiente de ..., sino que insistiría en que llegasen a saber plantear un modelo, a entender lo que buscan, a saber qué procedimiento estadístico es aceptable o deseable. Los pasos siguientes ya puede realizarlos un ordenador.

Es obvio que la siguiente parte de nuestra atención ha de centrarse en la interpretación de los resultados y en las conclusiones a las que uno puede llegar.

Una crítica que *a priori* yo haría a la concepción clásica de un programa de estadística es la compartimentación a priori de los procedimientos y temas. Creo que la separación de los conceptos del problema que los ha motivado tiene como consecuencia una formación pasiva en la que el alumno se acostumbra a distinguir entre varios enunciados de problemas, los cuales están bastante alejados de una situación real. Creo que un planteamiento del curso a partir del estudio y resolución de situaciones reales puede ser mucho más motivante y enriquecedor. Sería, a mi modo de ver, deseable un curso basado en la definición del problema, seguido de la localización de la causa y la búsqueda de soluciones y alternativas.

Valdría la pena disponer de la infraestructura y la energía suficientes para organizar estos cursos en torno al estudio y discusión de artículos bien escogidos que llevasen al planteamiento de cuestiones de diversa índole, la respuesta de las cuales fuese el contenido de cada uno de los temas de la asignatura. Huelga decir que ésto sería posible si los alumnos estuviesen distribuidos en grupos bastante reducidos. Para conseguir este propósito el libro de Tanur "Statistics: A Guide to the Unknown" editado por Wadsworth & Brooks / Cole (1989) puede ser de gran utilidad. Este Libro contiene 29 ensayos, muchos de ellos de fácil lectura, cuyo objetivo es enseñar estadística mediante ejemplos de la vida real y situaciones donde la utilización de la estadística haya supuesto un hito en la resolución del problema.

Estoy de acuerdo en líneas generales con el temario propuesto por el profesor Cuadras para el que sería el curso obligatorio bajo una concepción clásica de la asignatura. Coincido plenamente en que el curso debería empezar con una introducción al Análisis Exploratorio de Datos. Esta introducción ya podría tomarse bajo la perspectiva de una colección de artículos —situaciones reales— que incentivasen al alumno en torno a la materia. También es el momento para introducir el software estadístico escogido y desarrollar el curso de forma paralela a la aplicación y a la resolución mediante el ordenador. El segundo tema dedicado a la Teoría de la Probabilidad debería establecer unos contenidos mínimos para proporcionar al futuro biólogo y médico soltura para establecer sus propios modelos. Es difícil determinar tal contenido y la profundidad del mismo. En cualquier

caso no insistiría demasiado en la formalización matemática del problema ni perdería demasiado tiempo en la resolución de problemas analíticos o algebraicos. También aquí un paquete estadístico que permita al alumno dibujar gráficos de diversas distribuciones, así como sus funciones de densidad, de supervivencia o de riesgo, puede ser de mucha utilidad. El objetivo final de este capítulo debería ser la exposición del Teorema Central del Límite, su interpretación y sus aplicaciones.

En los temas de inferencia estadística haría especial hincapié en el concepto de nivel de significación (sin caer en el tópico del 5 % como regla de decisión dicotómica), de la distinción entre significación biológica, médica y estadística. En cualquier caso debería quedar clara la idea de la estructura de un estimador y su error. En este contexto es deseable mencionar algunas de las técnicas de muestreo. En el desarrollo de este tema plantearía el problema de los contrastes de hipótesis y de intervalos de confianza como un todo y no haría separaciones sistemáticas.

Estoy de acuerdo con el profesor Cuadras en que en un problema de regresión es esencial que el alumno entienda el significado de los coeficientes, de la variable respuesta y de la predicción. Añadiría a su programa el análisis gráfico de los residuos así como una consideración sobre el problema de la multicolinealidad. Esto además concuerda con el planteamiento metodológico anteriormente expuesto.

Estoy también de acuerdo en que una introducción al diseño de experimentos debería preceder al análisis de la variancia. El diseño de experimentos debe enfatizar la idea de conseguir el máximo de información al mínimo coste, entendiendo por coste el tiempo empleado, el uso de animales y la utilización de productos fungibles. También es esencial el obtener datos válidos para responder a problemas reales y por tanto este tema debería incluir una lección sobre errores debidos a la medición, independencia, replicación y aleatorización.

El Análisis de la Varianza, no cabe la menor duda, es un tema de mucha importancia en la formación de un biólogo y de un médico ya que proporciona la metodología para interpretar aquellos experimentos cuyo objetivo es la comparación de varias poblaciones. Si después de plantear un contraste de igualdad de las medias de las poblaciones, se concluye que no es plausible tal igualdad, tendríamos que investigar entonces como difieren. Sería importante finalizar tal estudio con la validación del modelo. Por otro lado la exposición de este tema puede resultar pesada debido principalmente a la notación y a sus muchas extensiones; creo que debería enfocarse de forma interactiva con el ordenador, haciendo que el alumno descubra, mediante ejercicios, los diferentes modelos de ANOVA con uno o varios factores. Me parece importante añadir unas lecciones sobre tests de independencia y de homogeneidad.

En el planteamiento del curso optativo de Bioestadística, el profesor Cuadras, intentando ser muy realista se excede en su pesimismo. Tengo la impresión de que un esfuerzo real de cara a un planteamiento del curso que incitase a la participación y al estudio de temas relacionados con la carrera de los estudiantes, y por consiguiente de su agrado e interés, cambiaría la actitud respecto a esta asignatura. De todas formas es esencial contar con grupos bastante reducidos, y con suficiente profesorado, y quizás es ésto lo que de momento no es nada realista.

Me parece positivo el llegar a interesar por las matemáticas y sobre todo por la estadística a un pequeño grupo de estudiantes, pero no debemos olvidar que el objetivo principal es la formación de biólogos y médicos y por consiguiente el esfuerzo debe ir dirigido a estos futuros profesionales. De la misma forma que a un estudiante de medicina, muy interesado en la psiquiatría no le cabe la menor duda de que debe aprender la anatomía del cuerpo humano, la misma disposición debería tener respecto de la estadística.

En cuanto al contenido del programa del curso optativo de Bioestadística coincido en la división de la asignatura alrededor de grandes bloques o temas. En particular me parece muy conveniente que el diseño de experimentos, las técnicas multivariantes, el análisis de datos categóricos y el análisis de la supervivencia se encuentren entre ellos pero suprimiría el tema dedicado a los temas informáticos y el correspondiente al cálculo matricial. Por otro lado no creo que un curso de segundo ciclo optativo tenga que ser necesariamente más teórico y matemático, sino que debería ser más profundo y maduro.

Estoy de acuerdo en que vale la pena ofrecer una ampliación de bioestadística durante la licenciatura. También debería ofrecerse ésta en cursos de doctorado, y además tal asignatura podría ser compartida en ambos cursos. Difiero con el profesor Cuadras en su actitud con respecto a los cursos de doctorado. Los alumnos de tercer ciclo no debieran limitarse a asistir sino que su participación y su actitud activa tendría que ser un requisito y su evaluación debiera basarse en trabajos y exámenes. Sería muy interesante poner a debate los contenidos de estadística en los programas de doctorado.

Si tuviese que escoger y decidir en qué lugar de la carrera pondría un solo curso obligatorio de estadística me inclinaría por situarlo en tercero y mantendría la necesidad de un curso optativo en quinto el cuál podría ser escogido a su vez por alumnos de doctorado. La madurez de un estudiante en tercero de carrera, junto con los conocimientos que ya ha adquirido, y posiblemente contando entonces con un número más reducido de alumnos, posibilitaría la puesta en práctica de una asignatura de estadística desarro-

llada a partir de ejemplos reales y en la que la participación de los estudiantes fuese un requisito.

Como conclusión, y como ya mencionaba al principio de mi exposición, solamente podremos impartir una estadística útil cuando ésta sea asumida como metodología de trabajo en todas las áreas que configuran el currículum de los estudios de medicina y biología.

## REFERENCIAS

- ARMITAGE, P. (1971). *Statistical Methods in Medical Research*, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- BORING III, J. R. (1987). Teaching Biostatistics at the Emory University School of Medicine, *The American Statistician* **41**, 4, 269.
- BOROTO, D. R. & ZAHN, D. A. (1989). Promoting Statistics: On Becoming Valued and Utilized, *The American Statistician* **43**, 2, 71-72.
- BOX, G. E. P. HUNTER, W. G. & HUNTER, J. S. (1978). *Statistics for Experimenters. An Introduction to Design, Data Analysis and Model Building*, Wiley, New York.
- CARTER, R. A. (1987). Biostatistics Instruction at Meharry Medical College. *The American Statistician* **41**, 4, 268-269.
- DAWSON-SAUNDERS, B. *et al.* (1987). The Instruction of Biostatistics in Medical Schools, *The American Statistician* **41**, 4, 263-266.
- DEVORE, J. L. (1987). *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*, Brooks/Cole Publishing Company, Monterey, California.
- HACKER, C. L. (1987). Medical Statistics at the Medical School of the University of Texas Health Science Center at Houston, *The American Statistician* **41**, 4, 266-267.
- HOGG, R. V. (1984). *Statistical Education for Engineers: An Initial Task Force Report*, Technical Report Iowa University.
- PEÑA, D. (1988). On the Logical Development of Statistical Models, *Trabajos de Estadística* **3**, 2, 195-213.
- RUBERG, S. J. & MASON, R. L. (1988). Increasing Public Awareness of Statistics as a Science and a Profession —Starting in the High Schools, *The American Statistician* **42**, 3, 167-170.
- TANUR, J. M. *et al.* (1989). *Statistics: A Guide to the Unknown*, Wadsworth & Brooks / Cole Advanced Books & Software, Pacific Grove.

## **Sobre la docencia de la Bioestadística en las Ciencias de la Salud**

**ANTONIO MARTIN ANDRES**

Facultad de Medicina  
Universidad de Granada

En relación con el artículo del profesor Cuadras, y para una mejor ubicación del lector acerca de los tópicos que se van a comentar, se me va a permitir que los aborde secuencialmente en base a los títulos que siguen. Mis comentarios quedan restringidos al campo de las Ciencias de la Salud, que es sobre el que poseo alguna experiencia.

### **1. SOBRE EL TÍTULO DEL ARTÍCULO**

Hoy día la Bioestadística se encuentra, o va a estarlo próximamente, en otras Licenciaturas distintas de las referidas (Odontología, Bioquímica, ...), o en determinadas Diplomaturas (Fisioterapia,...) lo que hubiera hecho conveniente extender el objetivo del artículo a "Docencia de la Bioestadística en las Ciencias de la Vida". Con todo, me limitaré a comentar el caso de Medicina, con alguna referencia circunstancial a otras situaciones.

### **2. SOBRE LOS CONCEPTOS PREVIOS QUE NECESITA EL ALUMNO**

El profesor Cuadras concluye que "es de esperar que el alumno posea una base matemática débil". Mi opinión es que eso en realidad no importa. Sí importa que tenga cercano el hábito matemático de la abstracción, no la magnitud de sus conocimientos matemáticos. Para la comprensión de la asignatura deben bastarle las cuatro reglas y poco más. De hecho, aunque sus conocimientos fueran superiores la enseñanza no variaría por ello, pues una deducción rígida de la estadística haría imposible dar nada de interés práctico en un curso.

### 3. SOBRE EL PROGRAMA BASICO

El profesor Cuadras nos habla de un primer curso de carácter general dividido en dos cuatrimestres. El contenido del mismo va a depender de la intensidad horaria de la asignatura, por lo que en adelante asumo una intensidad de 3 horas/semana de contenidos teóricos. En realidad esto es demasiado esperar, pues de todos es conocido que los futuros planes de estudio lo más que concederán para esta asignatura troncal son unos 6 créditos.

Como él mismo dice, la primera parte de la asignatura es la más dificultosa de transmitir al alumno por ser la que menos se presta a aplicaciones prácticas reales y la más conceptual. Precisamente por ello mi opinión es que los contenidos que él propugna para el 1.<sup>er</sup> cuatrimestre (Descriptiva, Probabilidad, Variable aleatoria) deben darse lo más rápidamente posible, reduciéndolos a un trimestre como máximo. Es precisamente en este tramo cuando se dan de baja la mayor parte de los alumnos que al final abandonan la asignatura. Con tal fin, la Descriptiva debe ser despojada de regresión y correlación (cuyas fórmulas no son intuitivas), quedando el histograma, media, varianza,... como conceptos sí intuitivos y que tienen la ventaja de ayudarnos a introducir los conceptos paralelos en variables aleatorias. Por cierto, el recurso a derivadas e integrales debe y puede evitarse. No hacerlo así nos dejará muy satisfechos de nuestra herencia matemática, pero muy insatisfechos de nuestra capacidad docente para transmitir de modo asequible aquello que sea relevante. Yo incluiría en este primer bloque alguna referencia a la distribución de Poisson, al menos para identificar su existencia.

Cuando el curso es supercorto (por ejemplo los 4 créditos teórico-prácticos actuales en Odontología), el sacrificio debe ser aún mayor, pues de lo contrario el alumno no entendería que en 40 horas no se le haya enseñado algo práctico (y para ellos lo es el saber calcular, ó realizar, e interpretar un intervalo de confianza y un test de hipótesis). Esto implica dejar reducido a su mínima expresión el citado primer bloque: 6 u 8 horas como máximo.

En el segundo bloque (inferencia estadística) yo añadiría la necesidad de hacer hincapié en el problema de las comparaciones múltiples (fuente de tantas conclusiones erróneas) y el hablar brevemente de los Ensayos Clínicos (que no requiere de una artillería matemática especial y es, cada vez más, casi de cultura general). Pero sobre todo debe hacerse resaltar la conveniencia de enseñar a determinar "tamaños de muestra". Sin embargo, me parece desmesurado e impracticable el intentar dar "Modelos de

regresión y análisis de la varianza". Basta dar el concepto y método del modelo de regresión y correlación lineal simple. Llegar más allá en un único curso es excesivo (Yo, en un tiempo, cometí parte de ese error y el resultado fue malo).

#### 4. SOBRE EL CURSO OPTATIVO

Se sobreentiende que tal curso se impartirá como asignatura "optativa alumno" dentro de los futuros planes de estudios, y ello implica que para ella no son esperables más de 6 créditos, lo que limita bastante sus contenidos. Cualesquiera de los citados por el profesor Cuadras son buenos, así como los de Modelos Lineales (que defendí anteriormente deberían pasar a este curso). La elección de unos tópicos u otros (todos, es imposible) dependerá del tipo de investigación que se realice en la Facultad de cada uno. No hay inconveniente en que el Curso sea simultáneamente ofrecido como Curso de Doctorado, repescando así a los alumnos que en su momento no lo eligieron. Estos cursos son siempre más agradecidos (a pesar de ser más complejos) por la motivación del alumnado (incluso el de Doctorado). No estoy de acuerdo en dar aquí algunos fundamentos de Epidemiología (sí de métodos estadísticos para epidemiólogos), pues sería incurrir en un indeseado intrusismo profesional.

#### 5. SOBRE EL METODO DOCENTE

El profesor Cuadras defiende una enseñanza de la Inferencia Estadística basada en una colección de problemas tomados de situaciones reales, evitando la descripción de las fórmulas. No estoy de acuerdo. Es conveniente desde luego introducir cada problema con un ejemplo, pero este no tiene por qué ser real, sino simplemente de impacto. Se trata de elegir un problema que sea entendible por todos sin necesidad de más explicaciones (por ejemplo para ilustrar la comparación de dos medias: comparar las estaturas medias de españoles y franceses). Al alumno no se le motiva más por el hecho de citar que tal problema ha sido tomado de tal Revista Científica, sino que se le abruma (y yo también he pecado con eso). Los problemas reales (usualmente complejos) deben reservarse para relaciones de problemas al final de cada tema ó de la asignatura.

Con respecto a las fórmulas, creo que es fundamental que el alumno les pierda miedo, y eso sucede cuando él se siente capaz de deducirlas. Por supuesto que ello será factible en unas, no en otras, y que la deducción habrá de ser no excesivamente rigurosa, pero para él es un descubrimiento

y una tranquilidad que, por ejemplo, la mayoría de los estadísticos contengan en su denominador la desviación típica del numerador. Es claro que ello no es posible en un curso corto de 40 horas, pero sí en otro caso.

## 6. SOBRE EL USO DE LA INFORMÁTICA

Aquí he de discrepar abiertamente del profesor Cuadras, quizás porque yo sea más antiguo y él más moderno (ino en edad!). Un modo de hacer perder miedo al alumno con respecto a la asignatura es capacitándole a resolver sus problemas a mano. Haciéndolo a mano, él entiende mejor los conceptos, la mecánica y siente dominio de la situación. Haciéndolo a máquina, todo lo achaca a la "magia" de la informática y piensa que los conceptos y mecánica son tan difíciles que no se le han podido enseñar. El estudio y práctica en casa se hace imposible para la mayoría, en su futuro profesional se siente desamparado si no tiene a mano un microordenador o el programa que aprendió, y es claro que hacer una comparación de dos medias ó una *chi*-cuadrado no requiere de tanta parafernalia. Todo esto aparte del hecho cierto de que la masificación actual de la Universidad impide una enseñanza tan particularizada como esa.

Caso distinto es el Curso Optativo. Ahora el número de alumnos es limitado, el miedo lo han perdido y el número de cálculos es lo suficientemente grande como para recurrir a la informática. Con todo, aún recuerdo la frase de un alumno de doctorado: "el análisis de la varianza se aprende haciéndolo primero a mano (para ver físicamente las particiones) y luego a máquina". Por supuesto se refería al de 1 y 2 vías.

En resumen, y en mi opinión, la informática debe ser una herramienta de ahorro de trabajo, no de aprendizaje y soslayo teórico. Pero el alumno debe saber lo que hace la máquina.

## 7. SOBRE LA UBICACION TEMPORAL DE LA ASIGNATURA BASICA

Actualmente casi todas las Facultades la tienen ubicada en 1.<sup>er</sup> Curso (salvo Granada, que la tiene en 2.<sup>o</sup>). La gran ventaja de posicionarla en 1.<sup>er</sup> curso es que el alumno la acepta como inevitable con más facilidad, teniendo además cercano el hábito matemático. Todo lo contrario sucede de ubicarla en medio o al final de la licenciatura; en particular, a esas alturas el alumno se siente ya "médico", siéndole más difícil aceptar la asignatura.

En general, las asignaturas "foráneas" a unos estudios pueden ser de dos tipos: una asignatura "maría" o "dura". Difícilmente habrá un punto intermedio. En el primer caso, más vale quitarle su carácter obligatorio; en el segundo, ponerla al final de la licenciatura podría ser catastrófico para la seguridad física y/o emocional del profesor. Por contra, situarla en el 1.º Curso implica que, no siendo asumida como método de trabajo en el resto de las asignaturas, será olvidada por el alumno. Pero ello no es demostración (como indica el profesor Cuadras) del poco interés que despierta (aunque esto sea cierto), sino sólo de que el tiempo no pasa en balde. Yo en mi carrera estudié astronomía (y me encantaba), pero ahora no la recuerdo; sin embargo, un pequeño repaso, con o sin profesor, me pondría al día. En conclusión: mi opinión es que debe estar en 1.º Curso.

## **8. SOBRE EL PROFESORADO Y LA FORMACION QUE LO SUSTENTA**

Mi estimado amigo Carlos es un "provocador". Y lo hace adrede para buscar la discusión y clarificación. Yo no la eludo. Decir que "la Estadística no debe ser considerada como una rama de las Matemáticas, sino como una disciplina separada, que utiliza las herramientas matemáticas, de modo semejante a lo que acontece con la Física o Economía" me parece un exceso. En tal caso las Matemáticas no existen, y sí la Geometría, la Topología, etc. A estos efectos conviene recordar que la Estadística viene incluida dentro del Campo de las Matemáticas en la NOMENCLATURA PARA LOS CAMPOS DE LAS CIENCIAS Y TECNOLOGIA DE LA UNESCO (curiosamente, la Bioestadística aparece dentro del Campo de Ciencias de la Vida).

Igualmente me parece excesivo afirmar que "la importancia de la Estadística no estriba en conseguir brillantes teoremas, sino en la utilidad que tiene en el estudio e interpretación de los datos". Parece evidente que lo segundo no sería posible sin lo primero, y que ninguna de las dos partes debe menospreciarse. Quizás el profesor Cuadras quiera indicar con tal frase una sorpresa equivalente a la de aquél empleado de CASA que afirmaba que "lo sorprendente no es que CASA fabrique aviones, sino que además vuelen", lo que llevado a nuestro caso significa que "lo sorprendente no es que los estadísticos demuestren teoremas, sino que además sirvan". Pero la Ciencia nos tiene acostumbrados a estas sorpresas. Por cierto que, sin ellas, yo no estaría escribiendo esto, ni usted leyéndolo.

Sí estoy de acuerdo con que "la enseñanza de la Estadística no debería estar monopolizada por los matemáticos", pero desde luego no es una vergüenza serlo. Todo depende de cómo lo ejerza uno. El campo de proce-

dencia es lo de menos, lo de más es la formación, y sucede que un matemático lo tiene más fácil (aunque, docentemente, le costará más trabajo desprenderse de cierta parafernalia innecesaria). Una cosa es clara: un profesor debe saber bastante más de lo que enseña.

## COMENTARIO

JORDI OCAÑA REBULL

Departamento de Estadística  
Facultad de Biología  
Universidad de Barcelona

En primer lugar debo manifestar mi total acuerdo con las líneas generales de este artículo, en cuanto al temario y al enfoque de la enseñanza de la Bioestadística en Biología y Medicina. Quisiera indicar que, de todas formas, parecen pensados para los actuales planes de estudios, situación que, si bien es óptima, si que es decididamente mejor que la que dejan entrever los futuros planes de estudios que, al menos en principio, parecen mucho más restrictivos en cuanto a créditos, es decir, en cuanto a tiempo disponible para esta materia. De todas formas, dado que los nuevos planes de estudios plantean todavía tantos interrogantes, es lógico adoptar el criterio que parece seguir el profesor Cuadras. Ya se verá en que medida tendremos que modificarlo cuando sean aprobados los planes definitivos.

Las siguientes son solamente algunas acotaciones o puntualizaciones a los conceptos expresados en el artículo:

Disponiendo de una aula informática convenientemente dotada y de profesorado, el uso de los ordenadores que se propone, basado fundamentalmente en el aprendizaje y la utilización de un paquete estadístico ( es decir, orientado principalmente a aquellas partes de las asignaturas de más marcado carácter práctico, con posible manipulación directa de tablas de datos) se puede completar ventajosamente con el empleo de programas de enseñanza asistida por ordenador, muy útiles para ilustrar numerosos conceptos en teoría de la probabilidad (convergencia en probabilidad, distribuciones asintóticas, ...) y en inferencia (sesgo de un estimador, potencia de un test, ...). Esto puede ser una inestimable ayuda en la exposición de algunos conceptos, importante, pero que dado su marcado carácter teórico (al menos aparentemente) son de difícil exposición y asimilación en el contexto de estas enseñanzas.

Una forma muy válida de interesar a los alumnos en la asignatura consiste

en la realización por su parte, bajo la dirección del profesorado, de trabajos prácticos consistentes en el tratamiento estadístico de datos recopilados u obtenidos por ellos. La aplicación del mayor número posible de técnicas estadísticas a un problema completo, bien conocido por el alumno, es en algunos aspectos mucho más ilustrativa que la simple resolución de los típicos problemas "de libro". Además es evidentemente muy fácil de relacionar con las prácticas basadas en los paquetes estadísticos. El principal inconveniente reside en la considerable cantidad de trabajo extra, tanto para el profesor como para el alumno, que genera. Desde el punto de vista del profesor, esta situación debería ir cambiando al disminuir la masificación en los cursos de Bioestadística.

El temario que se propone es realmente un mínimo realista y adecuado. Particularmente en la asignatura de ampliación, se podría discutir la posible inclusión de otros temas de evidente interés como los Procesos Estocásticos (basándose fundamentalmente en la exposición de los principales modelos concretos de interés en Biología), el Análisis de Series Temporales, el Análisis de Datos de Supervivencia o la Estadística no paramétrica (y en particular los métodos intensivos por ordenador), pero difícilmente tienen cabida por razones de tiempo. En todo caso se podría pensar en cursos de doctorado o en un carácter no fijo, posiblemente cambiante de curso en curso, del temario de esta asignatura electiva.

## COMENTARIO

C. RUIZ - RIVAS

Departamento de Matemáticas U.A.M.

Es incuestionable, actualmente, que en la formación de médicos y biólogos debe entrar la comprensión del método estadístico y sus herramientas (conceptos) fundamentales.

El enfoque, profundidad y técnicas que deben impartirse en las correspondientes licenciaturas produce un cierto grado de controversia (no sólo entre los docentes de la materia) y desde mi punto de vista, requiere la colaboración del resto del colectivo de docentes en Medicina y Biología. Esto último me parece imprescindible si se desea que el alumno acepte la estadística como parte importante de su aprendizaje y no como una materia aislada del resto de su formación.

Estoy de acuerdo con la propuesta del profesor Cuadras de dos asignaturas, una obligatoria en el primer Ciclo y una optativa en el segundo aunque discrepo en su estructuración y en los objetivos fundamentales de la parte obligatoria.

Mi experiencia se refiere, exclusivamente, a la docencia en Biológicas y aunque supongo que las necesidades son similares, mis comentarios deben entenderse pensando en esta licenciatura.

En primer lugar, considero más flexible una estructura en cuatrimestres y mi propuesta sería la siguiente:

1) *Introducción a las probabilidades.*

Situado en el segundo Cuatrimestre del primer año de la licenciatura y siguiendo a un cuatrimestre en el cual hubieran visto los rudimentos del cálculo en una y varias variables.

Contenido:

1. Probabilidad
2. Variables aleatorias
3. Vectores aleatorios
4. Modelos probabilísticos

El objetivo de este cuatrimestre es, fundamentalmente, adquirir la intuición del concepto de probabilidad y el manejo de los modelos probabilísticos más sencillos.

2) *Introducción a la inferencia estadística.*

Situado en el primer cuatrimestre del segundo Curso de la licenciatura.

Contenido:

1. Análisis de datos uni-bidimensionales
2. Elementos de la Inferencia Estadística
3. Estimación puntual
4. Estimación por intervalos
5. Contraste de hipótesis

El objetivo de este cuatrimestre es doble; en primer lugar, me parece muy importante no reducir la estadística descriptiva al cálculo de unas cuantas características (media, varianza, coeficiente de correlación...). Los alumnos deberían aprender a mirar los datos con sentido común y espíritu crítico y no, simplemente, procesarlos rutinariamente. Esto es importante para evitar posteriormente, la aplicación sistemática de modelos inadecuados.

En segundo lugar, la parte de inferencia estadística debe tener como objetivo fundamental la **COMPRESION** de los conceptos, objetivos, posibilidades e imposibilidades del esquema estadístico.

El ordenador, en esta parte, considero que debe tener un papel muy secundario puesto que la utilización, en este nivel, de paquetes estadísticos puede llevar a la situación, que todos conocemos, en la cual se meten los datos por un lado, salen las conclusiones por el otro y nadie entiende que ha pasado entremedias.

Una vez que el alumno tiene claros los elementos de la estimación puntual, los intervalos de confianza y el contraste de hipótesis, se puede añadir al final de este cuatrimestre algún modelo concreto, por ejemplo, regresión o pruebas  $\chi^2$ .

En relación con estas últimas, me parecería extraordinariamente positivo que fuesen explicadas en el curso de Genética, donde hacen un uso sistemático de ellas; esto enlaza con lo que decía al principio sobre la colaboración del resto de los docentes de biología. Si el alumno tiene claro lo que es un contraste de hipótesis llevaría muy poco tiempo el planteamiento de los contrastes  $\chi^2$  y sus aplicaciones en Genética.

Respecto a las asignaturas optativas en el segundo ciclo, el enfoque es completamente distinto y coincide totalmente con el planteamiento del profesor Cuadras.

## COMENTARIO

MIGUEL SANCHEZ GARCIA

Facultades de Medicina y Matemáticas  
Universidad Complutense de Madrid

### 1. LA ESTADÍSTICA: SU RELACION CON EL METODO CIENTIFICO

A mi entender, la didáctica de la estadística debe estar enmarcada en las formas de proceder del método científico. Como es sabido, la ciencia pretende obtener conclusiones de tipo general, partiendo de información, por lo general, parcial sobre el fenómeno o proceso que se investiga. En su devenir la ciencia utiliza tanto el método inductivo como el deductivo: el primero de ellos para formular hipótesis y (o) modelos sobre la información parcial disponible, mientras que con el segundo se obtienen conclusiones derivadas de las hipótesis propuestas por el método inductivo. Contrastar la validez, credibilidad o verosimilitud de las hipótesis o modelos formulados para explicar las observaciones es una de las tareas importantes de la estadística.

Estructuramos las metodologías científica y estadística en fases para estudiar las relaciones entre ellas. Las fases que configuran la estadística

serían:

*c)* Diseño de muestras y (o) experimentos para precisar como se han de tomar las observaciones sobre el fenómeno o proceso investigado.

*e)* Recopilación, almacenamiento, estructuración, ordenación y modificación-recuperación de los datos obtenidos en la experimentación. La Estadística Descriptiva, englobando las Bases de Datos, se ocupa de esta fase.

*f)* Análisis exploratorio de los datos obtenidos, con el fin de extraer hipótesis y modelos plausibles para explicar el proceso en función de las características observadas.

*g)* Análisis confirmatorio sobre la validez, credibilidad y/o verosimilitud de las hipótesis y modelos formulados en la fase exploratoria. Con la información disponible las hipótesis y modelos pueden ser aceptadas, rechazadas, o, bien solicitar más experimentación.

Si a estas fases añadimos:

*a)* Determinar con precisión el fenómeno o proceso que interesa investigar.

*b)* Recopilar información relevante conocida sobre dicho fenómeno.

*d)* Efectuar las observaciones experimentales sobre el proceso.

*h)* Dar significado, en el contexto del fenómeno, a las hipótesis y modelos que hayan resultado válidas en la fase confirmatoria. La semántica versará sobre explicaciones y predicciones acerca del proceso.

Obtendríamos la configuración estructural de la ciencia.

Explicar las distintas fases de la estadística con ejemplos, lenguaje y significado adecuados a cada campo científico, completaría su enseñanza en cada aplicación particular.

Para precisar algo más, las relaciones que existen entre la Ciencia y la Estadística, nos centraremos en las fases que preceden a la obtención de los datos.

Concretándonos en la fase b, la información relevante que se recoge y sintetiza sobre el proceso sometido a investigación, se formaliza en algún conjunto que llamaremos espacio de información. Este espacio debe contener, al menos, información relativa sobre quienes son los objetos, ítems, elementos etc; sobre los que se van a realizar las observaciones experimentales. Además, cuando las observaciones se efectúan después de aplicar algún tratamiento sobre los objetos, el espacio de información debe recoger quienes son los posibles tratamientos y cuales de ellos se pueden aplicar sobre cada unidad experimental. Cuando la información relevante sobre el proceso se puede modelizar en términos aleatorios, el espacio de

información se denomina espacio de probabilidad. Con el espacio de información se debe dar respuesta a la cuestión ¿Qué se va a investigar?

Seguidamente se formularía la pregunta: ¿Cómo se va a investigar?. La respuesta a esta cuestión decidirá como hallar los posibles items sobre los que se va a investigar y cómo se ha de efectuar la experimentación prácticamente. Cuando la investigación precise algún tratamiento previo, la respuesta debe contener también alguna técnica precisa sobre que tratamientos se aplican a los objetos. La información obtenida por este proceso se sintetiza en el espacio muestral teórico. Debe quedar claro que sobre un mismo espacio de información, se pueden construir varios espacios muestrales teóricos. También se explicará el hecho de que la selección de un elemento del espacio muestral teórico, determinará quienes son los objetos sobre los que se van a efectuar las observaciones. Por lo general, la selección de un elemento del espacio muestral teórico se efectuará mediante técnicas aleatorias, técnicas que justificarán la necesidad del estudio del cálculo de probabilidades.

En la construcción del espacio muestral teórico diremos que aplicamos un diseño de muestras cuando la experimentación se realiza por observación directa de los objetos, esto es, sin previo tratamiento o con igual tratamiento para todas las unidades experimentales, y un diseño de experimentos en otro caso.

Finalmente, con la realización de las observaciones sobre las unidades experimentales que forman el elemento seleccionado del espacio muestral teórico, obtendremos los datos que configuran el espacio muestral práctico.

Las fases c y d forman parte de la construcción del espacio muestral teórico; mientras que el desarrollo de parte de la fase d y la e, contribuyen a la construcción del espacio muestral práctico.

Es muy conveniente que la explicación de las distintas fases, así como la construcción de espacios, se motive con ejemplos concretos de diferente grado de dificultad, tomados de campos específicos, la medicina y la biología en nuestro caso, de la Ciencia. Modelizar un mismo fenómeno con distintos grados de dificultad, ayudaría notablemente en la enseñanza de la Estadística.

## **2. LA ENSEÑANZA DE LA BIOESTADÍSTICA**

Un esquema general de enseñanza de la estadística, aplicado a la Ciencia de la Vida, sería el marco general para la enseñanza de la Bioestadística.

Como ejemplos guía de las distintas fases se podrían tomar, entre otros:

- 1) Un fenómeno, asociado con observaciones del tipo éxito o fracaso;

enfermo o sano; válido o defectuoso, cara o cruz, etc.; modelizado por un espacio de información con dos ítem  $\{E, F\}$ .

El espacio muestral teórico recogería las posibles observaciones de  $n$  experimentos independientes sobre el espacio de probabilidades, y se formaría con la técnica del producto cartesiano.

El espacio muestral práctico sería un elemento del espacio muestral teórico. El recuento del número de éxitos sobre cada elemento del espacio muestral teórico introduciría la variable binomial, que al particularizarla sobre un sólo experimento daría lugar a la variable de Bernoulli. Ver que la variable Binomial es la suma de variables de Bernoulli, ayudará a entender el concepto de independencia de variables aleatorias y a dar métodos para calcular las características de una variable aleatoria suma, en función de las características de los sumandos.

La introducción de la ley hipergeométrica ayudaría a establecer diferencias entre dependencia e independencia estocástica, y esclarecería virtudes y defectos del muestreo con y sin repetición.

Convendría plantear el problema de estimar la probabilidad  $p$  de obtener éxito e introducir el concepto de estimador. Se mostraría el hecho de que los elementos del espacio muestral teórico no estiman  $p$  con igual precisión. Clasificándolos, con diversos criterios, en buenos y malos, se enseñaría a calcular la probabilidad de obtener una buena estimación de  $p$ , y como ésta crece cuando aumenta el número de observaciones o tamaño muestral  $n$ . Se explicaría como determinar qué medicamento es mejor para curar una enfermedad, mediante el contraste de las  $p$  asociadas con la curación de cada fármaco.

II) Una estudiante de MIR afirma haber descubierto una prueba para discriminar entre pacientes esquizofrénicos y depresivos. El tutor decide realizar un experimento para contrastar la veracidad de tal afirmación. El espacio de información, en este caso, estaría formado por aquellos pacientes que estuvieran dispuestos a pasar la prueba.

Para construir el espacio muestral teórico había que responder a preguntas tales como: ¿Cuántos pacientes deben seleccionarse para contrastar la bondad de la prueba?. ¿Deben seleccionarse pacientes sólo depresivos, sólo esquizofrénicos, o de ambos?. ¿En qué orden deben pasar los pacientes la prueba?. ¿Qué información debe darse a la estudiante?, etc.

Realizada la experiencia, se nos presenta el problema de decidir si admitimos la prueba como válida o no. ¿Cuántos pacientes debe discriminar correctamente la prueba para admitir su validez?. ¿Qué riesgo corremos al admitir la prueba como válida cuando no lo es?. ¿Y si rechazamos la

prueba siendo válida?. Serían cuestiones a las que habría que responder para decidir sobre la credibilidad de la prueba.

III) Un medicamento se aplica a pacientes para ensayar su influencia sobre determinados parámetros vitales. Cuestiones relativas al diseño serían: ¿Cómo se ha de aplicar la medicación?. ¿Cuánto tiempo debe durar?. ¿Cada cuánto tiempo se deben tomar medidas de los parámetros?. Tomadas las medidas en la fase exploratoria se formularían cuestiones como las siguientes: ¿Son las medidas de los parámetros dependientes o independientes?. ¿Influye el medicamento directamente sobre los parámetros o se produce retroalimentación entre ellos?. ¿Cómo influye la medicación sobre los parámetros en el transcurso del tiempo?. ¿Que modelo es el más adecuado para explicar los datos observados y predecir otros nuevos?, entre otras.

IV) Se diseña un test o prueba para discriminar si un paciente sufre o no una determinada enfermedad. El test sería óptimo si al aplicarle a un paciente enfermo decidiera que está enfermo y decidiera que el paciente está sano, cuando estuviera en este estado. Los conceptos de sensibilidad y especificidad del test son medidas adecuadas para precisar su optimalidad.

Con ejemplos de este tipo se esclarecerían las cuatro fases del método estadístico, así como la construcción de los tres espacios básicos. Estas dos facetas de la filosofía estadística se explicarían, aunque a distintos niveles, en cualquier curso de Estadística.

Propondremos, además, como materias de enseñanza en Bioestadística:

— Métodos y técnicas para obtener muestras y construir diseños de experimentos. Al realizar estas explicaciones aparecerá el concepto de homogeneidad entre objetos y basadas en él se desarrollarán técnicas de clasificación.

— Construcción, basándose en fenómenos compuestos o múltiples de espacios de información (o probabilidad) producto y condicionado, justificando los conceptos y fórmulas de sucesos dependientes e independientes, entre otros el teorema de Bayes. Puesto que a nivel de experimentación práctica todos los espacios son finitos, se enseñarán estos conceptos sobre este tipo de espacios. En esta fase se introducirán los conceptos de test o contraste de hipótesis así como técnicas para calcular probabilidades.

— Introducir el concepto de variables aleatorias como aparatos de medida, relacionando determinados cambios de variable con los cambios de escala en los correspondientes aparatos. Se introducirá el concepto de estimador como una transformación de las medidas obtenidas sobre las unidades experimentales. Se matizará el hecho de que, a niveles prácticos,

las variables aleatorias sólo pueden tomar un número finito de valores.

— Las técnicas de regresión y análisis de la varianza se enmarcarán en el contexto del modelo lineal general, aunque explicado con distinta dificultad, según los cursos y el nivel de formación del alumnado. Se incidirá en el hecho de que se pueden formular muchos modelos para explicar el proceso, inculcando el razonamiento sobre el significado de las distintas componentes de los modelos. Se inducirá al alumnado a discutir sobre la validez de uno u otro modelo.

— El análisis exploratorio de datos se enseñará en términos prácticos. Dados unos datos concretos, se les aplicarán distintas técnicas, mediante los correspondientes programas de ordenador; presentando los resultados al alumno e incentivándole a formular hipótesis y modelos que se adapten a las regularidades observadas. Se potenciará la intuición y los métodos inductivos. Se hará ver la necesidad de aplicar diferentes técnicas según sean los datos, cualitativos, cuantitativos o mixtos, etc. La Genética, Bioquímica, Epidemiología, Radiología y Curvas de Supervivencia, entre otras, pueden ser excelentes fuentes de obtención de datos para su análisis exploratorio.

— Es importante concienciar al alumnado sobre la importancia que tiene la toma de decisiones en los profesionales de las Ciencias de la Vida, haciéndoles ver los riesgos que se corren con la elección y puesta en práctica de una acción.

Para enseñar los test de hipótesis se deben buscar ejemplos que faciliten el posicionamiento de los alumnos como profesionales, (dentistas, cirujanos, pediatras, oftalmólogos, etc.), y con esa escenificación explicar el significado de los riesgos (errores del primer y segundo tipo) que aparecen en la elección del método de decisión.

A estas representaciones ayudará la realización de diseños simples y sencillos, efectuados por grupos de alumnos y desarrollados en las cuatro fases de la metodología estadística.

Sintetizando lo dicho, plantearíamos los siguientes cursos:

A) Un curso Básico de Bioestadística, pudiendo tener el siguiente contenido:

— Iniciación al método científico y al estadístico, planteando distintos tipos de problemas sobre diversos sistemas. Construir sobre ejemplos sencillos los tres espacios de probabilidad básicos.

— Iniciación al diseño de experimentos y a los ensayos clínicos aplicados.

— Iniciación al cálculo de probabilidades, estadística descriptiva y bases

de datos. Programas estadísticos para el análisis de datos.

— Iniciación a la formulación de hipótesis y modelos. Introducción al contraste de hipótesis, a la estimación de parámetros y al análisis de decisiones.

— Introducción a técnicas sencillas de regresión, análisis de la varianza, epidemiología y análisis exploratorio de datos.

B) Un curso de Ampliación de Bioestadística. Contendría:

— Profundización en el método científico-estadístico y en la utilización de las técnicas más usuales del diseño de muestras, experimentos y ensayos clínicos.

— Profundización en las técnicas de representación de datos y en su análisis exploratorio. Desarrollar la intuición para formular hipótesis y modelos en función de los resultados obtenidos en el análisis exploratorio de los datos.

— Ampliación del análisis de decisiones y del contraste de hipótesis.

— Modelos predictivos. Filosofía. Planteamiento de modelos sencillos en diferentes contextos y su validación.

— Técnicas elementales de algunos procesos estocásticos aplicados.

C) Cursos de especialización sobre materias específicas:

Pensamos que el curso A se impartiría en un primer ciclo, el B sería optativo y se impartiría en un segundo ciclo y los C serían cursos post-gradado.

Todos los cursos incluirían la parte informática necesaria para efectuar los correspondientes cálculos, y los conceptos se fundamentarían sobre ejemplos diversos de las distintas disciplinas científicas.

### 3. COMENTARIOS AL ARTICULO INVITADO

En lo esencial coincido con las opiniones del profesor Cuadras. En particular estoy de acuerdo con él en los siguientes puntos:

— Acoplar el lenguaje de exposición de la Bioestadística a la formación del alumnado.

— Enseñar a abstraer conceptos de diversos ejemplos, enriqueciendo su semántica extrayendo distintos significados de los ejemplos.

— Realizar los cálculos estadísticos sobre un paquete de programas, conteniendo información, quizá en forma de glosario, sobre los conceptos utilizados en el paquete.

- Conceptualizar, sobre problemas prácticos, las ideas más significativas del contraste de hipótesis.
- Primar lo que contribuya a que el alumnado aprenda a formular distintos modelos e hipótesis y a seleccionar los más válidos.
- Evitar la exposición de fórmulas engorrosas que resulten innecesarias para enseñar el hilo conductor, motivando al alumnado a que maneje los distintos soportes de información.
- Que las unidades docentes sean también unidades de apoyo a la investigación en Medicina y Biología.

A estas consideraciones añadiría las siguientes:

- Presentar las distintas fases del Método Estadístico con ejemplos.
- Construir los espacios básicos en distintos escenarios.
- Ampliar prácticamente el diseño de muestras, experimentos y ensayos clínicos.
- Realizar la estadística descriptiva con bases de datos.
- Que los alumnos simulen profesiones y se sitúen ante el proceso de toma de decisiones en este contexto, enseñándoles a ponderar los riesgos que conlleva dicho proceso.

## BIBLIOGRAFIA

- MILTON C., WEINSTEN-HARVEY V., FINEBERG (1980). *Clinical Decision Analysis*. W. B. Saunders Company.
- ROBERT F., WOOLSON (1987). *Statistical Methods for the Analysis of Biomedical Data*. John Wiley.

## COMENTARIO

MARIA ADELA SANZ

Facultad de Medicina y Odontología  
Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea

La invitación hecha por la revista ESTADÍSTICA ESPAÑOLA para participar en la discusión del artículo de Carles M. Cuadras "Docencia de la Bioestadística en Medicina y Biología" me ha hecho reflexionar, una vez más, sobre el tema de la enseñanza de la bioestadística, en concreto en la Facultad de Medicina, donde he desarrollado mi actividad docente durante los últimos seis años. El por qué de la enseñanza, su contenido y organización, las dificultades planteadas y posibles soluciones son discutidas, a la vez que se comentan aspectos y tendencias de la enseñanza a nivel internacional.

## 1. INTRODUCCION

La bioestadística comenzó a enseñarse en España en las facultades de medicina en 1973, sin ninguna infraestructura previa, ni de investigación ni de profesorado. La falta de infraestructura de investigación no necesita comentarios. La carencia de profesorado es consecuencia directa de la no existencia en nuestro país de programas de formación en bioestadística para los futuros enseñantes. La introducción de la nueva materia en el curriculum, que se había incorporado en otros países ya en los años cincuenta, exigió, como en tantas ocasiones, una improvisación. Así surgieron los primeros profesores de bioestadística, bien titulados en ciencias matemáticas, generalmente sin interés en la materia aún siendo especialistas en estadística, o con titulaciones diversas y escaso conocimiento de la metodología estadística, como señala Cuadras en su artículo.

En otros países, la bioestadística ha empezado a tener razón de ser —de forma natural— en unidades de investigación. Tal es el caso del Reino Unido, donde existen varias unidades de bioestadística en centros del Medical Research Council.

En la primera mitad del siglo, el interés se centraba en el estudio de los fenómenos biológicos, en particular en genética y aplicaciones a la agricultura. Bien conocidas son las contribuciones de Fisher en estos terrenos, consecuencia de su trabajo en la Rothamsted Experimental Station. Con el paso del tiempo, el interés se ha desplazado hacia las aplicaciones en medicina y salud pública.

Problemas relacionados con epidemiología e investigación clínica han exigido el desarrollo de metodología estadística adecuada en las últimas décadas. Los Departamentos de Bioestadística de las universidades americanas, localizados en las Escuelas de Salud Pública, tienen como objetivo el desarrollo de investigación y formación de profesionales en este terreno. A este respecto, Marvin Zelen (1983) señala que: "El estudiante de bioestadística tiene que estar en un entorno en el que se discutan los problemas importantes biológicos y biomédicos... Su formación tiene que ser amplia, tanto en teoría y práctica como en informática, y tiene que adquirir experiencia en la planificación y ejecución de estudios... Los estudiantes de estadística que deseen introducirse en el campo, deberían estar uno o dos años, tras el doctorado, en una unidad activa de investigación, con bioestadísticos expertos... El entrenamiento en la mayoría de los departamentos de estadística no es adecuado y requiere cuidadosa ampliación... El estadístico tiene que aprender que la ciencia estadística o bioestadística no es matemáticas...", opinión esta última compartida por Cuadras.

En su artículo, Cuadras califica a la estadística de "Ciencia Interdisciplinar". Y es precisamente por ello, por lo que, en contra de la opinión de algunos estadísticos, conviene delimitar el terreno de la especialización, lo que hace el prefijo "bio" en el caso que nos ocupa. Pensamos que el titulado de "bioestadística", al que se refiere Zelen, podría desarrollar proyectos de investigación cooperativa en el campo médico y biológico, y tendría una formación adecuada para su enseñanza.

Las circunstancias de la docencia y la investigación en nuestro país hacen que nos encontremos lejos de ofrecer programas en bioestadística con un mínimo de coherencia y calidad. Durante mi estancia en la Universidad de Valladolid en los años pasados, se hizo un intento. Lástima que no haya podido llevarse adelante. Desde aquí, quiero llamar la atención sobre la necesidad de aunar esfuerzos para la creación de programas en la línea de los impartidos en las universidades americanas. La licenciatura en estadística que señala Cuadras no resolvería el problema. El carácter interdisciplinar de la bioestadística requiere, para su máximo y más correcto desarrollo, un flujo en ambas direcciones, es decir, penetrar en los problemas médicos y biológicos desde una perspectiva estadística, y aprender de los métodos estadísticos con una perspectiva médica y biológica.

## 2. BIOESTADÍSTICA EN MEDICINA. ¿PARA QUE?

Aunque la bioestadística resulte no solamente útil, sino en muchas ocasiones imprescindible en el desarrollo de una investigación seria, su enseñanza en las Facultades de Medicina carecería de sentido si fuera sencillamente un "bien de uso o consumo" que puede proporcionar al médico el "experto" bioestadístico. En general, esta concepción convierte al supuesto bien de uso en un "mal uso", y al experto (si de verdad lo es, como irónicamente hace referencia Cuadras al final de su artículo) en un triste peón al que se le piden soluciones de problemas generalmente mal planteados. A nivel de investigación, resulta entonces de interés un aprendizaje mayor o menor de bioestadística por parte del médico, que le permita desarrollar correctamente su propio trabajo y/o comunicarse con el experto. Pero, ¿resulta de interés el aprendizaje de bioestadística para el estudiante de medicina, en general?

Cuadras justifica la enseñanza de la bioestadística esencialmente por el papel que juega en el método científico, es decir se centra en el aspecto investigador. En nuestra opinión, los principios y métodos estadísticos encuentran una aplicación importante, además, en los otros dos aspectos fundamentales a los que se dirige el interés del médico: la medicina clínica y la medicina comunitaria —medicina preventiva y salud pública—. Pero

aún hay más. Una enseñanza adecuada de la forma de razonamiento y método estadístico contribuye al desarrollo de un pensamiento lógico y crítico, esencial en el proceso de aprendizaje. La fisiología, psicología, anatomía, farmacología..., y las diferentes especialidades de la medicina clínica, presentan como constante una variabilidad que sólo puede ser descrita en términos estadísticos. La capacidad de apreciación de la variabilidad de las medidas clínicas y de laboratorio es, en consecuencia, un aspecto importante en la educación médica. La práctica de la medicina exige, por otra parte, la continua puesta al día y revisión de conocimientos: una correcta interpretación y crítica de la literatura médica, donde la referencia y utilización de métodos estadísticos es cada vez mayor, resulta entonces imprescindible para valorar las afirmaciones que se hacen en las publicaciones médicas, en ocasiones fundamentadas en métodos inadecuados o escasa evidencia.

En el mundo de la clínica, la medicina tiene dos objetivos prioritarios: el diagnóstico y el tratamiento. A ellos, añadiremos un tercer objetivo, el pronóstico, importante en muchos casos para una adecuada elección de tratamiento.

La patología clínica se ha encargado de describir una serie de enfermedades y su forma de manifestación. Al médico clínico le corresponde realizar el camino opuesto; es decir, a la vista de una serie de síntomas, busca los signos que puedan hacerle sospechar un padecimiento concreto, situándole en un terreno más o menos conocido en el que deberá seleccionar la terapia a seguir. ¿Cuál es el razonamiento del médico en todo este proceso? El diagnóstico y el pronóstico se apoyan, sin duda, en un razonamiento de tipo probabilístico (Crichton y Emerson, 1987). En la elección de tratamiento, el médico considera la experiencia de otros, recogida en la literatura médica, su propia experiencia asistencial, y los resultados experimentales de los ensayos clínicos; maneja probabilidades de curación, o de mejoría, condicionadas a un cierto diagnóstico muchas veces no seguro, pero también, en general, los conceptos de utilidad y coste. Nos parece, en consecuencia, importante, no sólo dar forma y fundamento al propio razonamiento probabilístico del médico, sino además enseñarle cómo, y en qué medida, la estadística puede ser útil en relación con la decisión y el diagnóstico.

Tanto en el proceso de diagnóstico, como en el control posterior de la evolución de la enfermedad, el médico depende en gran medida de los tests de laboratorio. Una adecuada valoración de la sensibilidad y especificidad de los mismos es entonces importante antes de la toma de decisiones.

Si a nivel clínico la estadística se juzga útil, a nivel comunitario resulta imprescindible, ya que es el único método posible de aproximación al conocimiento de fenómenos que se presentan en determinadas poblaciones. La estadística se ha convertido así en el substrato metodológico en el que se fundamenta la moderna epidemiología, dirigida a la investigación de factores de riesgo de los procesos morbosos.

La planificación sanitaria exige el conocimiento detallado del tamaño y distribución de la población, de su estado general de salud, y el de las diferentes comunidades que la integran, utilizando para ello los censos y las estadísticas de mortalidad y morbilidad. Además, es importante el conocimiento de aquellos factores que afectan en formas diversas al estado de salud, como son, por ejemplo, la calidad de la vivienda, nutrición, entorno y medio ambiente. La planificación exige también el estudio de los recursos materiales y humanos disponibles, y el uso que se hace de los mismos. Los profesionales de la medicina son generadores de gran parte de esta información, y deben conocer cómo hacerlo en forma adecuada y cómo beneficiarse de ella.

En cuanto a la investigación, prácticamente su totalidad, ya sea clínica, de laboratorio, o epidemiológica, pasa inevitablemente por la colección, análisis e interpretación de conjuntos de datos. La claridad de ideas de lo que se puede hacer, y cómo, resulta fundamental para establecer los objetivos del estudio y seleccionar métodos adecuados que permitan dirigirse a ellos con garantías de seguridad y eficiencia. La estadística juega así un papel importante, tanto en el diseño del estudio —no necesariamente experimento—, como en los métodos de análisis y, en general, también en el propio desarrollo, especialmente cuando se genera gran cantidad de información, difícil de manejar, y cuya calidad debe ser necesariamente controlada: un buen soporte informático resulta imprescindible en estos casos. La estadística resulta útil, además, a la hora de comunicar los resultados de las investigaciones de una forma simple y clara, que recoja la información de interés, y no hay que olvidar la importancia del análisis exploratorio como generador de hipótesis.

### **3. ORGANIZACION DE LA DOCENCIA**

Si bien existe un acuerdo unánime sobre el interés de la inclusión de la bioestadística en el curriculum de medicina (Hacker, 1987), su contenido y organización se presenta de una forma muy dispar, por una serie de razones que trataremos de analizar a continuación.

La enseñanza de la bioestadística en medicina es un fenómeno relativamente reciente. Y, aunque se admita su interés, hay que tener en cuenta que la mayor parte de los médicos no tienen, ni han tenido por tradición, una formación en bioestadística. El mal uso de los métodos estadísticos en las revistas médicas es harto frecuente, como comenta ampliamente Cuadras en su artículo; a este respecto, otras referencias de interés son: Altman (1982), DerSimonian, Charette, McPeck y Mosteller (1982), Armitage (1983), Moses y Louis (1984), y Williamson, Goldschmidt y Colton (1986). No obstante, la bioestadística se siente como una necesidad adicional, cuya enseñanza encierra una serie de ventajas, pero no imprescindible en la formación del clínico. Y al no juzgarse imprescindible, la variabilidad de programas y horas de dedicación es necesariamente mayor, los unos establecidos muchas veces en función de las otras, y éstas asignadas de acuerdo a la valoración del interés y necesidad de la materia en las distintas universidades, y a la disponibilidad general de horas a lo largo del currículum.

En concreto, el estudio realizado por Dawson-Saunders et al. (1987) sobre la enseñanza de la bioestadística en las escuelas de medicina de Estados Unidos y Canadá, señala una variación de horas de 1 a 117, siendo la mediana 24,5. En general, la localización de las horas destinadas a bioestadística se hace en los primeros cursos. Algunas escuelas incluyen enseñanzas de bioestadística en los rotatorios de medicina comunitaria, casi invariablemente integrada en el contexto de la epidemiología (Carter, 1987). En Cardiff (UK), la enseñanza de la bioestadística está integrada con la enseñanza de otras materias, a lo largo del currículum médico, en los dos años preclínicos y los tres años clínicos.

Existe amplia discusión sobre qué se debe enseñar al estudiante de medicina sobre bioestadística, y cómo hacerlo. En los 1989 Joint Statistical Meetings se dedicó una sección a este tema, incluyendo artículos de Cornell (1989), Dawson-Saunders y Reed (1989) y Azen et al. (1989). Cuadras comenta cómo algunos autores defienden el que la asignatura de bioestadística debería estar situada en el segundo ciclo, e incluso en el tercero, señalando, por otra parte, que resulta más fácil introducir los conceptos estadísticos en alumnos de primer curso. Su opinión es que debería existir una asignatura obligatoria en el primer ciclo, y después una asignatura de ampliación —supongo que en el segundo ciclo—. En su artículo, Cuadras comenta el contenido de dichos programas, y el papel de la informática. Pasamos a continuación a discutir sus ideas, a la vez que exponemos nuestras propias opiniones en relación con la enseñanza de la bioestadística en medicina.

El programa que presenta Cuadras para el primer ciclo es un programa clásico de introducción a la estadística, al que podríamos añadir el calificativo "bio", si los problemas se explican en contexto. Y en un contexto médico, son mucho más importantes los conceptos probabilísticos que se usan en clínica y epidemiología que, por ejemplo, el concepto matemático de variable aleatoria. Se echa en falta en este programa el tratamiento del problema de decisión, tan importante en medicina. Pero además, si el curso de ampliación es optativo, no se proporciona con ese programa al médico formación sobre las cuestiones esenciales que como médico le interesan. Y más incluso, algunas no son contempladas tampoco en el curso de ampliación.

En el apartado anterior, señalamos que la enseñanza de la bioestadística es útil al médico desde diferentes aspectos. Y es en términos de esa utilidad como debemos organizar la enseñanza. Por ello defendemos un curso básico, no solamente en el primer ciclo, sino en el primer año, para contribuir a la formación lógica del alumno, y a la asimilación del concepto de variabilidad, además de proporcionarle una metodología que le será útil en el aprendizaje de otras asignaturas, y le enseñará a ser crítico con la literatura médica, sobre la que se debe discutir en las clases (Hacker, 1987; Carter, 1987). La parte esencial de la bioestadística para el médico clínico debería situarse en el segundo ciclo, cuando el alumno hace suyos dichos problemas (Hacker, 1987; Dawson et al., 1987). En un curso de unas veinte horas podrían explicarse los conceptos esenciales de los estudios de mortalidad y supervivencia, problemas de diagnóstico y tratamiento, ensayos biológicos y ensayos clínicos, factores de riesgo y factores de confusión, y las encuestas de salud, incluyendo aspectos de muestreo y planificación. Para el ya licenciado que quiera trabajar en investigación, la solución, según nuestra estructura universitaria, sería ofrecer cursos de doctorado bien organizados, cubriendo las diferentes necesidades, y formando, como conjunto, un Programa de Doctorado en Bioestadística Clínica —ensayado en Valladolid en el bienio 1986-1988—. De ahí sí saldrían médicos capacitados para colaborar en investigación, comunicarse con otros bioestadísticos más expertos, y enseñar bioestadística a sus propios colegas. Cuadras comenta en su artículo que entre los alumnos de "ampliación" surgirán médicos y biólogos con conocimientos estadísticos más sólidos, pero no señala cómo. El curso de ampliación que él propone no es adecuado para un médico en el segundo ciclo, ni por el contenido, ni por las horas que se necesitarían para desarrollarlo, en el momento en que las prácticas exigen gran dedicación. Por otra parte, el conocimiento de un paquete estadístico sólo nos parece esencial en el tercer nivel de doctorado, aunque consideramos de interés el que el alumno se familiarice desde el principio con las salidas de diferentes programas, y el que realice algu-

nos cálculos con ayuda de una calculadora, para profundizar en su contenido.

En resumen, introducción temprana, sencilla y bien orientada, problemas de clínica y epidemiología en el ciclo clínico, y amplia oferta posterior —dirigida al investigador— sería, según nuestra opinión, la forma de proporcionar al médico una formación en bioestadística útil y acorde a las necesidades.

## REFERENCIAS

- ALTMAN D. G. (1982). *Statistics in medical journals*. *Statistics in medicine* 1, 59-71.
- ARMITAGE P. (1983). *Trials and errors: The emergence of clinical statistics*. *J. Roy. Statist. Soc. A* 146, 321-334.
- AZEN S. P., NILAND J., BERNSTEIN L. (1989). *Trends in the teaching of biostatistics in schools of medicine*. *Proceedings of the American Statistical Association: Sesquicentennial Invited Paper Sessions*, 334-349.
- CARTER R. A. (1987). *Biostatistics instruction at Meharry Medical College*. *The American Statistician* 41, 268-269.
- CORNELL R. G. (1989). *Biostatistics instruction: A historical perspective*. *Proceedings of the American Statistical Association: Sesquicentennial Invited Paper Sessions*, 315-322.
- CRICHTON N. J., EMERSON P. A. (1987). *A probability based aid for teaching medical students a logical approach to diagnosis*. *Statistics in Medicine* 6, 805-811.
- DAWSON-SAUNDERS B., AZEN S., GREENBERG R. S., REED A. H. (1987). *The instruction of biostatistics in medical schools*. *The American Statistician* 41, 263-266.
- DAWSON-SAUNDERS B., REED A. H. (1989). *The teaching of biostatistics to medical students: the present*. *Proceedings of the American Statistical Association: Sesquicentennial Invited Paper Session*, 323-333.
- DERSIMONIAN R., CHARETTE L. J., McPEEK B., MOSTELLER F. (1982). *Reporting on methods in clinical trials*. *The New England Journal of Medicine* 306, 1332-1337.
- HACKER C. S. (1987). *Medical statistics at the Medical School of the University of Texas Health Science Center at Houston*. *The American Statistician* 41, 266-267.

- MOSES L., LOUIS T. A. (1984). *Statistical consulting in clinical research: the two-way street*. *Statistics in Medicine* 3, 1-5.
- WILLIAMSON J. W., GOLDSCHMIDT P. G., COLTON T. (1986). *The quality of medical literature: An analysis of validation assessments*. In J. C. Bailar III and F. Mosteller, Ed.: *Medical Uses of Statistics*. Waltham. Massachusetts Medical Society.
- ZELLEN M. (1983). *Biostatistical science as a discipline: A look into the future*. *Biometrics* 39, 827-837.

## COMENTARIO

LLUIS SERRA CAMO

Facultat de Biologia

Universitat de Barcelona

En líneas generales el planteamiento docente propuesto por el doctor Carlos Cuadras me parece muy acertado, tanto en lo que se refiere a la distribución de la materia en dos cursos, como por el contenido que propone dentro de cada uno de ellos. En su planteamiento se reflejan muchos años de experiencia (de los cuales he sido partícipe como alumno, colega y amigo en la misma Facultad) y su constante esfuerzo por encontrar un equilibrio entre una base matemática abstracta suficiente para evitar que la materia se transforme en un mero recetario y la exposición de ejemplos prácticos que consigan despertar el interés no sólo del estudiante sino también de aquellos investigadores y profesionales en general que necesitan dar un tratamiento estadístico a los resultados obtenidos en la experimentación.

Realmente no es tarea fácil ya que los ejemplos más interesantes son los que requieren no sólo un mayor grado de sofisticación matemática de los métodos estadísticos sino también un conocimiento profundo de la materia (ecología, genética de poblaciones, antropología cuantitativa, etc....) a la cual se aplican, que sólo se posee como mínimo en un nivel de tercer ciclo o postgrado. Es por ello que me limitaré a exponer una serie de matizaciones desde el punto de vista de un genético, especializado en el campo de la genética de poblaciones y genética evolutiva.

Los libros de texto de genética general han experimentado una evolución en cuanto a su contenido en lecciones o secciones de bioestadística (o estadística). Así, en los manuales clásicos se incluían capítulos sobre la teoría de la probabilidad, la distribución binomial, de Poisson y normal, y algunos test como la prueba de  $\chi^2$ -cuadrado. También, en una lección de

introducción a la genética cuantitativa, se solían tratar algunos conceptos básicos de estadística descriptiva, la regresión lineal y el coeficiente de correlación. En la actualidad, debido por una parte al desarrollo de la genética molecular, que ha obligado a reducir o suprimir algunos temas clásicos, y también a la generalización de los cursos de Bioestadística en la Licenciatura de Biología, no suelen encontrarse capítulos de estadística en los textos de genética general, o bien quedan reducidos a algún apéndice. No cabe duda de que el temario mínimo de un primer curso de Bioestadística propuesto por el doctor Cuadras, incluyendo los grandes capítulos de estadística descriptiva, fundamentos de probabilidad y variables aleatorias, inferencia estadística y modelos de regresión y análisis de la varianza, cubre sobradamente el nivel de conocimientos de estadística que necesita un estudiante de genética general. Sin embargo, el hecho de que un tema determinado esté incluido en un programa no significa que los estudiantes lo hayan asimilado hasta el punto de que puedan utilizarlo con soltura. Normalmente, temas como la distribución de Poisson o el test de *ji*-cuadrado deben volver a explicarse, o al menos a replantearse en el contexto de la asignatura, en las clases de genética general. Aunque esta situación también se aplica en el caso de otras materias impartidas en cursos anteriores al de genética general, nos conduce a un punto que considero fundamental: un curso de Bioestadística no puede limitarse a un mero recetario, pero los temas no deben tratarse con un grado de abstracción matemática tal que dificulte a un estudiante de primer ciclo aplicar sus conocimientos estadísticos a resultados experimentales concretos. Por lo tanto, en lo que se refiere a la asignatura obligatoria de Bioestadística para estudiantes de primer ciclo de Licenciaturas experimentales como Biología o Medicina, la cuestión está no sólo en el contenido general del temario sino también en el planteamiento didáctico. Debería existir un paralelismo absoluto entre la teoría y los ejemplos de aplicación; en este sentido podría ser útil adoptar una estructura de texto parecida a la de los manuales de Problemas de Probabilidades y Estadística de Carlos Cuadras de la colección Laboratorio de Cálculo publicados por la editorial PPU, aunque ampliando y detallando más los resultados teóricos y procurando que en la colección de problemas y ejercicios hubieran más ejemplos biológicos (no es difícil conseguir una muestra significativa consultando los manuales básicos de genética, ecología, antropología, epidemiología, microbiología, etc...).

La situación cambia radicalmente al considerar el segundo ciclo y la especialización. Se trata ahora de analizar cuál ha de ser la formación estadística básica para aquellos estudiantes que pretenden especializarse en alguna rama de la Biología con un fuerte componente cuantitativo, como la Ecología (incluidas todas sus especialidades), la Genética de Po-

blaciones, Genética Cuantitativa (con su rama aplicada a la mejora vegetal y animal), Genética Evolutiva, Antropología Cuantitativa, Demografía, etc... A este nivel la base matemática adquirida por el estudiante es fundamental, no sólo para poder seguir las explicaciones de los distintos temas del curso optativo sino también para poder entender los artículos que aparecen en las revistas científicas de la especialidad que ha elegido y para que él mismo pueda diseñar correctamente sus propios experimentos cuando dirija un equipo de investigación. Es evidente que siempre existe la posibilidad de colaboración con especialistas en estadística pero la experiencia demuestra que si el futuro investigador no posee unos conocimientos básicos de las técnicas que pretende utilizar dicha colaboración está condenada al fracaso. Por lo tanto, para poder seguir un curso optativo de Bioestadística con pleno aprovechamiento, el estudiante debe poseer ya una base sólida de Análisis Matemático y Álgebra Lineal. Sin embargo, esta base no la puede haber adquirido durante el primer ciclo de la Licenciatura: temas como la descomposición en valores singulares, inversas generalizadas, o derivación matricial, e incluso aspectos más básicos y generales como los espacios con producto interior, formas bilineales y cuadráticas, sucesiones y series de funciones, teoría de la integración (incluyendo la integral de Riemann-Stieltjes y de Lebesgue) o el teorema del cambio de variables para integrales múltiples, que son indispensables para poder seguir no solamente un curso de análisis multivariante, por ejemplo, sino incluso libros de estadística general, no se explican (o se tratan muy superficialmente) durante el primer ciclo. Algunos de estos temas suelen incluirse dentro de la asignatura optativa, pero esta solución sólo debe considerarse un mal menor. Además, esta situación se agravará en el futuro, puesto que en los nuevos Planes de Estudios de Biología se contempla una reducción drástica del número de créditos de matemáticas y bioestadística en el primer ciclo.

En mi opinión, la solución óptima sería que existiera un curso de Ampliación de Análisis y otro de Ampliación de Álgebra Lineal previos al curso (o cursos) optativo de Bioestadística. En ellos podrían considerarse con más detalle no sólo los temas que he indicado anteriormente sino otros como las Cadenas de Markov y Límites de Matrices, Ecuaciones Diferenciales en Derivadas Parciales, etc..., de indudable interés en algunas ramas de la Biología. Esta solución, además, es compatible con la nueva estructura de los Planes de Estudios basada en un sistema de créditos y en una optatividad de universidad no inferior al 10 % en el primer ciclo y de 75 % en el segundo ciclo, aunque presupone, evidentemente, que el estudiante ya ha cursado una asignatura básica de matemáticas durante el primer ciclo. De esta forma podrían eliminarse del contenido temático de la asignatura optativa de Bioestadística propuesto por el doctor Cuadras los temas co-

respondiente al cálculo matricial y las técnicas informáticas no específicas (que podrían darse en un curso aparte, de carácter más general), manteniendo el núcleo formado por el Diseño de Experimentos, las Técnicas Multivariantes y el Análisis de Datos Categóricos. El tema 6, Análisis de datos de supervivencia y Epidemiología, podría quedar quizás como un tema complementario o ser substituído por un capítulo de introducción a las técnicas de Simulación o a los métodos de Bootstrap para determinación de errores standard, intervalos de confianza y otras medidas de precisión estadística.

## COMENTARIO

PILAR ZULUAGA ARIAS

Universidad Complutense  
Facultad de Medicina

El artículo del Profesor Cuadras me parece muy acertado tanto en su contenido como en su desarrollo, pues expone muy claramente cómo debe ser la docencia en una Unidad de Bioestadística.

Basándome en mi experiencia y con ánimo de indicar la situación de la docencia en la Facultad de Medicina de la Complutense haré las siguientes puntualizaciones:

Creo que una asignatura en primer ciclo debe exponer los conceptos básicos del Cálculo de Probabilidades y Estadística, desarrollando el amplio panorama de los métodos estadísticos, ejemplificado continuamente con problemas médicos o biológicos, pero con la limitación consciente de que al alumno le faltan aún conocimientos y herramientas para resolver los aspectos estadísticos de sus futuros problemas. Por ello se debe prescindir de desarrollos matemáticos complejos que no aporten nada a los conceptos estadísticos, manteniendo, sin embargo, el suficiente rigor científico ya que los alumnos de primer ciclo tienden a aburrirse pero también tienden a trivializar ideas, rechazar explicaciones y buscar "recetas". En cuanto al contenido de dicha asignatura el esquema de cuatro bloques:

1. Estadística Descriptiva.
2. Fundamentos de Probabilidad y Variables Aleatorias.
3. Inferencia Estadística.
4. Modelos de regresión y Análisis de la Varianza.

es exactamente el que se da actualmente a los alumnos de primer curso de la Facultad de Medicina de la Complutense.

También creo de gran interés una asignatura en segundo ciclo en la que,

ya motivados por problemas reales planteados en cursos intermedios, puedan familiarizarse con la naturaleza de los fenómenos aleatorios, diseñar experimentos, tratar adecuadamente un banco de datos y sacar consecuencias válidas.

En la actualidad en segundo ciclo de Medicina de la Universidad Complutense no existe esta asignatura, lo que se suple con una asignatura de tercer ciclo de estas características y también de título "Ampliación de Bioestadística".

Esperemos que en un futuro no lejano esto se pueda subsanar teniendo en cuenta el Informe técnico del Consejo de Universidades para el título de Licenciado en Medicina y Cirugía, en el cual figuran entre otros objetivos:

*"Un conocimiento y comprensión adecuadas de las ciencias fundamentales de la Medicina, del método científico, de los principios de la medida de las funciones biológicas, así como un aprendizaje elemental relativo a la evaluación de los hechos científicamente probados y al análisis de los datos en general..."*

*... Durante su periodo de estudios, los alumnos deben cursar determinadas materias opcionales en orden a conseguir una mejor comprensión del pensamiento científico de su tiempo, facilitar la elección de su futura carrera profesional e incitarles a realizar con posterioridad algún trabajo de cierta profundidad..."*

Evidentemente las asignaturas de Bioestadística y Ampliación de Bioestadística, son indispensables para alcanzar dichos objetivos.

Otro aspecto de una Unidad Docente de Bioestadística es el asesoramiento en trabajos científicos. Como indica el profesor Cuadras cada día son más los tratamientos estadísticos en publicaciones médicas, aunque desgraciadamente en muchos casos no son adecuados. Creo que en esto parte de culpa tiene el reciente aumento de recursos informáticos. No quiere esto decir que no se deba poner en manos de los médicos los paquetes adecuados, sino que se les debe exponer muy claro que el uso de un paquete no sustituye el trabajo de búsqueda y decisión de los métodos a emplear y que el análisis estadístico no acaba en las salidas de los programas: la fase de interpretación es fundamental. Todo ello sin olvidar que de unos datos mal tomados ningún método estadístico le llevará a resultados fiables. Por ello el contacto con el Bioestadístico creo que es fundamental.

Para terminar señalaré que otro aspecto que creo debe cubrir la Unidad Docente de Bioestadística en una Facultad de Medicina es la presencia en los "Comités de Ensayos Clínicos" de sus Hospitales Asociados (Esta labor

la hemos realizado algunos profesores de la Sección de Estadística e I.O. en el Hospital Clínico de San Carlos, durante varios años), me remitiré a tal efecto al B.O.E. (Orden 20605, 12 agosto 1982) que es muy claro en cuanto a los miembros de la Comisión:

*“Un Bioestadista o persona que posea amplios conocimientos en Bioestadística”.*

y de entre los items que debe tener el protocolo de ensayos clínicos, algunos están muy claramente relacionados con la Bioestadística, recogeré algunos de ellos:

*“6. Objetivos del proyecto:*

*Hipótesis de trabajo con estudio de planteamiento estadístico...*

*11. Definición de los sujetos experimentales y testigos, número y selección de enfermos...*

*19. Parámetros clínicos y analíticos...*

*21. Análisis y tratamiento de datos.*

*Con tratamiento estadístico de significación...”.*

Todos los aspectos antes tratados resumen claramente la amplia labor a realizar por los profesores de Bioestadística.

