



1

Interrelaciones didácticas de la Física y la Biología

Por Elías FERNANDEZ URÍA (*) y M.^a Jesús MORALES LAMUELA (**)

I. INTRODUCCION

En el presente trabajo intentaremos ofrecer algunos ejemplos de aplicación de la Física al campo de la Biología, así como extraer consecuencias didácticas de relevancia para la enseñanza científica en el B.U.P.

No vamos a detenernos en analizar todas las ventajas didácticas de los enfoques interdisciplinares, pero si quisiéramos estudiar algunas de las más destacadas. La línea seguida en nuestro enfoque es la correspondiente a la *correlación didáctica*, proceso en el cual se continúan considerando independientes las diferentes asignaturas, pero procurando utilizar en cada una de ellas ejemplos y aplicaciones correspondientes a otras.

Por supuesto, el nivel más maduro de interdisciplinariedad se alcanza cuando se destruyen las diferentes barreras separatorias de las asignaturas y se programa un ciclo educativo en torno a centros globales de interés (y no en torno a «lecciones» de asignaturas). Sin embargo, dada la problemática administrativa de los Institutos, conviene poner en marcha enfoques didácticos que sean factibles en la situación actual.

Dentro de estos enfoques, el más sencillo es el correspondiente a la «correlación», anteriormente definido. La enseñanza de la Biología, por ejemplo, se correlacionaría con la de la Física en el caso de proponer para su análisis ejemplos del campo

biológico que se puedan interpretar a la luz de los conceptos físicos; en una asignatura de Física, se pueden utilizar también aplicaciones al dominio de la Biología de conceptos y métodos propios de dicha asignatura.

De igual modo que existe un área de investigación situada entre la Biología y la Química (la Bioquímica), existe también un conjunto de aspectos interfásicos englobados dentro de la Biofísica; algunos ejemplos de este último campo pueden poner de manifiesto la diversidad de facetas correspondientes al mismo:

- Los sistemas muscular y óseo se pueden estudiar a la luz de los conceptos de la Estática; aquí entrarían aspectos como la resistencia, el equilibrio, la realización de trabajo, etc.
- El aparato circulatorio se puede interpretar, en grandes rasgos, a partir de la Hidrodinámica.
- En el estudio de la alimentación intervienen de manera decisiva los conceptos de trabajo, calor, energía, etc.
- El estudio del oído y del ojo debe hacerse fundamentalmente a partir de la Acústica y la Óptica.
- El sistema nervioso guarda una estrecha relación con los sistemas cibernéticos, por lo menos en sus rasgos formales; además, la transmisión de impulsos nerviosos a través de

las neuronas no puede entenderse sin recurrir a la Electroquímica.

- La Radiobiología, que estudia las interacciones radiación-organismo, tiene aplicaciones fundamentales en el campo de la Medicina.

Existe un área interdisciplinar, de gran auge a partir de la década de los sesenta, que relaciona la Física con la Biología, la Psicología y las Ciencias del comportamiento: este área ha recibido la denominación de «Análisis de Sistemas». Aunque un tratamiento detallado se sale de los límites del presente trabajo, no conviene desdeñar las posibles aplicaciones al diseño curricular de este campo de investigación. Por descontado, el análisis de sistemas hace uso de contenidos básicos de la Cibernética, lo que lo convierte en una zona de posibles interrelaciones conceptuales con la Lógica y las Matemáticas.

II. VENTAJAS DIDACTICAS

Algunos de los aspectos de la Biología anteriormente propuestos como ejemplos se salen de los li-

(*) Catedrático de Física y Química de I.N.B.

(**) Profesora de Física de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Zaragoza.

mites trazados por los programas oficiales del B.U.P. Por supuesto, no proponemos un aumento de contenidos, dada la excesiva densidad de los ya existentes en los libros de texto.

No obstante, la búsqueda de enfoques interdisciplinares en las áreas científicas puede contribuir a desarrollar algunos de los siguientes objetivos educacionales:

- A destruir barreras interdisciplinares, que no siempre tienen razón de ser en los trabajos experimentales y teóricos.
- A fortalecer los conceptos de una determinada asignatura, mediante su aplicación a zonas aparentemente disociadas.
- A lograr una visión lo más unitaria posible de la Naturaleza (por supuesto, sin llegar a los extremos del positivismo decimonónico).
- A centrar más la atención sobre los «hechos naturales», que sobre el conjunto de modelos y teorías de las distintas áreas científicas.
- A enriquecer el alcance y la extensión de los modelos y las teorías.

Alguien ha dicho en cierta ocasión que «la Naturaleza no ofrece barreras conceptuales, sino que es el hombre, el investigador, quien las crea». Sin entrar en polémicas de tipo epistémico acerca del sentido profundo de las interpretaciones científicas, no cabe duda que existen parcelas del saber disociadas en una determinada época histórica y enlazada más adelante a través de teorías de amplia aplicación.

Por ejemplo, cuando se suponía que la materia orgánica solamente podía sintetizarse a partir de una hipotética «fuerza vital» (y esto a comienzos del XIX), difícilmente podía imaginarse que en una época no muy lejana de aquélla se enlazarían conceptualmente la Química Orgánica y la Inorgánica; menos aún podría suponerse que se llegase a la síntesis de aminoácidos y de cadenas polipeptídicas; o, incluso, a utilizar los esquemas conceptuales de la Química para interpretar los fenómenos vitales a nivel celular e intracelular.

En el campo de la Psicología, hubiera parecido una utopía la simulación de operaciones intelectuales sencillas mediante ordenadores; aunque, por descontado, el mecanismo no tiene por qué ser formalmente el mismo. Y, en el campo de

la Medicina, pocos hubieran soñado con el diseño de prótesis cuyo movimiento se pudiese realizar a voluntad del paciente; por supuesto, posiblemente no se llegue nunca a obtener una mano artificial con la sensibilidad y las posibilidades de una mano real; pero esto no oscurece la importancia del hecho.

La unificación conceptual es un sueño o una aspiración de gran número de científicos; históricamente, fue necesario compartimentalizar las áreas de investigación, con objeto de avanzar; de esta manera, tanto la Mecánica, como la Termología, la Óptica, la Química, etc., se desarrollan en sus comienzos de manera prácticamente independiente unas de otras.

Es curioso constatar cómo, en los comienzos de la Filosofía Griega, los modelos tendían a ser unificados; por ejemplo, Aristóteles relaciona de manera notable los fenómenos mecánicos con los biológicos, e incluso utiliza un lenguaje biologicista o teleológico para explicar fenómenos como la caída de los objetos, la evaporación del agua, etcétera. Parece como si, por el devenir de los hechos, se volviese a una situación similar a la adoptada por la Filosofía en sus comienzos.

Después del desarrollo inicial de la Mecánica Clásica (siglo XVII), la Teoría Atómica (comienzos del XIX), la Termología (comienzos del XIX) y la Electroestática (XVIII), comenzaron a surgir de forma natural zonas interdisciplinares que enlazaban conceptos anteriormente considerados independientes. Así:

- La Termodinámica y la Mecánica Estadística, que enlazaban el calor, el estudio de los gases y la Mecánica.
- El Electromagnetismo, enlazando la Electricidad y el Magnetismo.
- La Teoría de Campos Electromagnéticos, que logró unir la Óptica y el Electromagnetismo, haciendo uso de modelos ondulatorios.
- En el estudio de las reacciones químicas, tanto en fase líquida como gaseosa, se adoptaron los modelos de la Mecánica Estadística y la Teoría Cinética.

A finales del XIX se había logrado desarrollar una imagen coherente del mundo Físico-Químico, apoyada sobre modelos de tipo mecánico («mecanicismo»); el mundo biológico, sin embargo, seguía constituyendo un campo aislado de investigación, en parte superado a

través del desarrollo de la Química Orgánica y de la Química-Física. Sin embargo y como se verá en los ejemplos ofrecidos en el siguiente apartado, gran parte de los problemas sencillos de tipo Físico-Biológico ya se habían planteado y resuelto en el siglo XIX; ello supone una posibilidad didáctica para el B.U.P., nivel al que no se le puede exigir la sofisticación de tratamientos de la Biofísica experimental moderna.

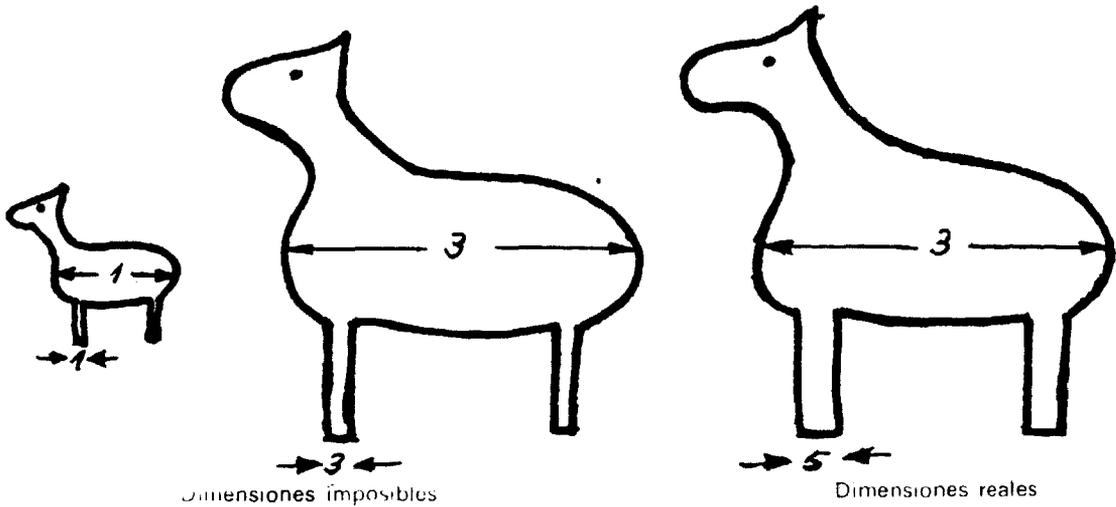
El enfoque didáctico más sencillo consiste en la resolución de cuestiones y problemas numéricos que comporten la aplicación de leyes y modelos físicos al campo de la biología; en esta línea se pueden encuadrar los ejemplos ofrecidos en el apartado siguiente. Dentro de los esquemas de trabajo del «Método de Proyectos», los alumnos más interesados pueden abordar en profundidad el estudio de algún tópico especializado; así:

- *Acústica* (sonoridad, estructura de la audición, componentes musicales, ruido ambiental).
- *Visión* (el ojo como «cámara oscura», sensibilidad cromática, defectos de visión, estructura de la retina).
- *Estudios de membrana* (fenómenos osmóticos, transporte activo, estructuras de membranas). Este tema requiere de una coordinación con el Seminario de Ciencias Naturales.
- *Conductividad neuronal*.
- *Organismos y radiación* (medidas de la radiación, aplicaciones terapéuticas, cálculo de blindajes, centrales nucleares).
- *Entropía y vida* (organización biológica, procesos biológicos, evolución y muerte).

Por supuesto, a nivel de B.U.P. o de C.O.U., no se podrá profundizar más allá del nivel conceptual definido por los programas; pero incluso con unos pocos conceptos básicos de Física se puede llegar a interpretar una gran variedad de procesos.

III. ALGUNOS EJEMPLOS PARA TRABAJAR EN CLASE

Como decíamos anteriormente, vamos a ofrecer una serie de cuestiones y problemas que pueden ser válidos perfectamente para el nivel del B.U.P.; están extraídos de un trabajo más extenso elabora-



do por los autores (Fernández, E.; Martínez, A.; Morales, M. J., 1979), dirigido a estudiantes de primer curso de Facultad. Estos problemas son bastante clásicos, y se pueden obtener más enunciados y ejemplos en algunos de los libros incluidos al final (especialmente el de Alan Cromer).

1. Analizar por qué las patas de los elefantes son, en relación a las dimensiones de su cuerpo, mucho más anchas que las de otros animales más pequeños.

En este problema intervienen los aspectos geométricos de longitud, área y volumen, dada la escasa atención prestada a la Geometría en la E.G.B., sin embargo, los alumnos suelen presentar bastantes dificultades para razonar en esta línea.

Si despreciamos factores como la resistencia muscular, la movilidad, etc., abstraeremos el factor fundamental: la anchura de las patas ha de ser suficientemente grande para soportar el peso del animal. Lo interesante de este razonamiento radica en su ilustración del proceso científico: siempre que se construyen modelos o teorías, es importante seleccionar algunas variables de entre el conjunto de factores intervinientes en el fenómeno; de otra manera, interaccionarían varios modelos de forma simultánea, lo que complicaría el análisis del sistema a estudio.

Dado que el peso del animal crece con el volumen, y la resistencia de las patas con el área de su sección transversal (en 1.ª aproximación), se desprende de aquí que las dimensiones del cuerpo y de las patas no han de seguir el mismo factor de escala. Algunos números pueden ayudar a comprender mejor esto.

Supongamos que un animal es tres veces más largo que otro; si las proporciones del cuerpo se mantienen, pesará aproximadamente $3^3 = 27$ veces más; por consiguiente, las patas han de tener un área transversal 27 veces mayor, lo que supone un diámetro transversal $\sqrt{27} \cong 5$ veces mayor; por consiguiente, las patas siguen un factor de escala (5 en este caso) diferente que el cuerpo (3).

El razonamiento se puede llevar también hacia abajo, dentro de la escala biológica (insectos, arañas); en las aves, podemos argumentar de forma similar, en lo que se refiere al tamaño relativo de las alas respecto al cuerpo (¿por qué no vuelan los pingüinos?). Repetimos que, como en todo razonamiento científico, simplificamos e idealizamos deliberadamente la realidad del sistema a estudio.

Ya en el siglo XVII, Galileo había observado que el grosor de los huesos no guardaba relación con la longitud; así, un hueso de un animal 2 veces más largo que el de otro no era 2 veces más grueso, sino $\sqrt{8} \cong 2,8$.

2. Existen bastantes problemas de tipo *termo-biológico*, cuya resolución supone una sencilla aplicación de principios geométricos. Así, por ejemplo:

— Un elefante tiene una masa 8.000 veces mayor que la de una cobaya. En igualdad de condicio-

nes de vida (movilidad, temperatura externa), lo cual no deja de ser una idealización, ¿qué relación puede haber aproximadamente entre las masas de alimentos ingeridos cada día por cada uno de ellos? (tomado del curso de Física P.S.S.C.).

Por supuesto, para resolver esta cuestión habrá que tener en cuenta que ambos animales son homeotermos; por consiguiente, si despreciamos las diferencias en las formas corporales, las pérdidas caloríficas serán proporcionales a la superficie, es decir a:

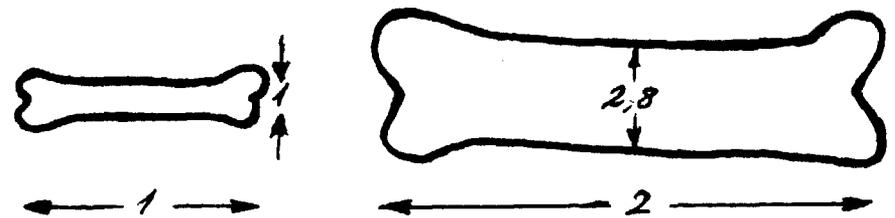
$$(\sqrt[3]{8.000})^2 = 400$$

este número deberá ser del mismo orden de magnitud que la cantidad de calorías ingeridas diariamente a través de la alimentación.

— Analizar por qué los animales de sangre caliente muy pequeños necesitan ingerir alimentos con mucha frecuencia (pensar, por ejemplo, en el caso de los ratones y los pájaros mosquitos). Pista: Las pérdidas caloríficas son directamente proporcionales a la superficie, pero la cantidad de energía interna del sistema es proporcional al volumen; por consiguiente, el factor a tomar en consideración es la relación superficie/volumen.

Algunas otras cuestiones de tipo geométrico:

— ¿Por qué no pueden existir los gigantes de Gulliver?



- ¿Qué ventajas y qué inconvenientes tendrían los liliputienses?
- ¿Por qué los ciclistas pequeños ganan a los grandes en la escalada?

3. En el campo de la *Energía*, la variedad de problemas que se pueden resolver es amplísima; cuando este concepto se desarrolló a lo largo del 2.º tercio del siglo XIX, algunos pensadores intuyeron que se acababa de dar con el principio de unificación de todas las ciencias; por supuesto, a partir de la Relatividad, hay que hablar de conservación de masa-energía, pero la importancia de este principio no ha decaído.

Los procesos biológicos requieren todos ellos de un cierto grado de consumo energético; de ahí que los animales necesiten ingerir alimentos; las plantas obtienen la energía directamente del Sol. No se puede entender el problema fundamental de las fuentes de energía, si no se entiende el papel jugado por las plantas en la asimilación de radiaciones solares; no olvidemos que, hasta el advenimiento de la energía nuclear (de incierto futuro), prácticamente todas las fuentes energéticas utilizadas eran de origen remoto solar; y, dentro de las mismas, las de tipo fósil-orgánico han sido y son las más destacadas.

Algunos ejemplos de problemas de tipo energético:

— Supongamos que la potencia solar media de luz visible (incluyendo la noche) recibida por m² de una zona de pastos es de 35 W; de esta potencia, solamente un 2 por 100 se aprovecha para el crecimiento de los pastos (un 50 por 100 se invierte en la evaporación de agua, un 32 por 100 pasa al suelo, y un 16 por 100 es reflejado por las hojas). ¿Qué cantidad de energía, en kcal, se almacena por m² de pasto al año?

— Animales de tamaño tan diferente como el canguro, el ciervo, la gacela, el gato, el hombre, la rana, etcétera, son capaces de realizar saltos del mismo orden de magnitud (entre 1,5-2,8 m.). ¿Cómo se explica esto, si existen diferencias tan notables en las dimensiones corporales? Pista: tenga en cuenta que la energía potencial adquirida en el salto depende del trabajo realizado por los músculos de las patas, el cual depende a la vez de la fortaleza de las mismas y de la disminución de longitud muscular; la fortaleza depende del área transversal.

Por supuesto, se trata de un problema de factor de escala, similar a los propuestos anteriormente; por eso mismo, la explicación deberá ser bastante simplista y eliminar bastantes factores intervinientes (consultar el Nuffield de Biología).

— ¿Cómo se explica que animales tan distintos, como son la liebre, el galgo y el caballo, corran a velocidades similares? Pista: se verifica una transformación de trabajo muscular en energía cinética; tenga en cuenta de nuevo el factor de escala (consultar el libro de Cromer).

— Sabiendo que la presión sanguínea media de un adulto en la aorta es de 100 mm Hg, y que el flujo en dicha arteria es de unos 80 cc/s, calcular la potencia del corazón (resultado: 1 W).

Si se supone un rendimiento del 25 por 100 (0,25) en la conversión energía alimenticia → trabajo, ¿qué potencia alimenticia conlleva el funcionamiento promedio del corazón?

— Demostrar que, entre dos animales semejantes, el de mayor tamaño tiene un ritmo cardiaco inferior (factor de escala).

— ¿Cuánta energía laboral, en kWh, puede consumir un hombre a lo largo de un día de trabajo? Dato: suponga una velocidad o potencia metabólica de 200 W. Pasar los kWh a kcal, y diseñar una dieta utilizando una tabla de valores energéticos de los alimentos usuales.

— Demostrar que solamente los pájaros más pequeños pueden mantenerse en equilibrio en el aire; es decir, pueden mantenerse fijos en un punto batiendo las alas. Pista: la velocidad metabólica depende fundamentalmente de factores superficiales y no volumétricos.

— Demuestre que, para los animales poiquilotermos, la temperatura corporal es siempre ligeramente superior a la del medio ambiente.

4. No vamos a incluir problemas de Acústica, ni de Óptica, por ser los más conocidos. Como muestra, sin embargo, reseñamos alguna aplicación de la *Hidrodinámica* al estudio de la circulación sanguínea.

— El corazón bombea la sangre en la aorta con una presión media de 100 mm Hg. Si suponemos que la sección de esta arteria es de unos 2,5 cm², ¿cuál es la fuerza media ejercida por el corazón sobre la sangre que entra en la aorta?

$$F = P \cdot A = 100 \text{ mm Hg} \times \\ \times 133,3 \text{ N/m}^2 \times 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\ \approx 3 \text{ N}$$

En los cálculos, hemos transformado los mm Hg en N/m²:

— Si se mantiene un frasco con plasma a 2 m. por encima del brazo de un enfermo, ¿cuál será la presión de dicho plasma al penetrar en la vena? Si la presión sanguínea de la vena es de 12 mm. Hg, ¿a qué altura mínima debe mantenerse el frasco?

— ¿Por qué la presión de la sangre es menor en el cerebro que a nivel del corazón?

— El área de la sección transversal de todas las arterias principales del hombre es de unos 20 cm², y el de todos los capilares, 0,25 m². Teniendo en cuenta que el flujo de sangre que atraviesa los capilares es el correspondiente a la arteria aorta, calcular la velocidad media de la sangre en arterias y capilares. Dato: velocidad en la aorta, 33 cm/s.

5. Ejemplos de cuestiones de *Radiobiología*.

Para terminar, incluimos algunas cuestiones de este interesantísimo campo científico; su interés dimana no solamente de las aplicaciones terapéuticas y las relativas al diagnóstico tumoral, sino también de toda la problemática de las centrales nucleares; el nivel conceptual es ahora más elevado que en las otras áreas analizadas, y de ahí que las cuestiones siguientes se adapten mejor al curso de C.O.U.

— Se quiere realizar la radiografía del muslo de un paciente utilizando rayos X obtenidos al aplicar 200 kV entre los electrodos. Para la λ del haz obtenido, el espesor de semiabsorción medio es de 8 cm en el caso del tejido muscular, y de 6 cm en el tejido óseo. Calcular la relación de intensidades entre las zonas de placa correspondientes a la parte central y la parte periférica.

Datos: Diámetro del fémur \approx 3 centímetros; del muslo \approx 18 cm.

— Demostrar que 1 r (un roentgen) de radiación corresponde a 0,87 rads en el aire. ¿A cuántos rads corresponde en el agua?

— Supongamos que una zona del cuerpo humano de 0,1 kg de masa, sometida a radioterapia, recibe en total 5.000 rd. ¿A cuántos julios de energía corresponden? ¿Por qué no es mortal esta dosis?

Se supone que la velocidad de desintegración del C¹⁴ en una muestra de 12 g de carbono obtenida a partir de un hueso hallado en una excavación es de

$$A = 60,5 \text{ min}^{-1}$$

Calcular la edad aproximada del hueso. Datos: $t(C^{14}) = 5.730$ años; la razón de equilibrio C^{14}/C^{12} en la atmósfera = $1,3 \cdot 10^{-12}$

El carbono de una tumba que se cree es del año 1200 a.J., muestra en 1970 una actividad 0,68 veces la del carbono en un árbol. ¿Cuál es la edad aproximada de la tumba?

-- Mediante elementos trazados se ha descubierto que la cal de la cáscara de los huevos se forma con el material ingerido en el día; en cambio, los productos del interior del huevo los ha ingerido la gallina un mes antes. Diseña un experimento para comprobar estos hechos (tomado del Nuffield de Física).

IV BIBLIOGRAFIA BASICA

De los libros reseñados, los más interesantes nos parecen los de Cromer y González Ibeas; este último, desgraciadamente, no incluye problemas; pero, a pesar de ello, constituye un excelente tratado.

El Curso de Biología de la Nuffield incluye 5 volúmenes para el alumno y 5 guías para el profesor;

abundan los aspectos interdisciplinares, tanto con respecto a la Física (por ejemplo, el estudio de perfiles aerodinámicos de aves y peces), como con respecto a la Química; hay interesantes experiencias en la línea de la Bioquímica, resistencia de materiales, etc.

Los libros de Bertalanffy y de Atlan son de nivel elevado, pero constituyen obras fundamentales para abordar el estudio de las interrelaciones Filosofía-Biología-Física; el enfoque de Bertalanffy es de tipo filosófico, centrándose en el estudio analítico de los sistemas; el libro de Atlan se centra en cuestiones relativas a la organización biológica, entropía, biocibernética, probabilidad, evolución y muerte de los organismos.

Los tres tomos de Benedeck constituyen una obra clásica en su género, aunque no son recomendables para principiantes. El libro de Laskowski incluye interesantes aplicaciones al campo de la organización macromolecular, así como el reseñado bajo «varios autores». El uso de técnicas de difracción para dilucidar estructuras biológicas, a nivel molecular, constituye un interesante campo de la Biofísica, aunque demasiado especializado para el nivel de B.U.P.-C.O.U.

LIBROS RECOMENDADOS:

- ATLAN, H.: *L'organisation biologique et la théorie de l'information*, Hermann, Paris, 1972.
- BENEDECK, G y VILLARS, F.: *Physics with illustrations from Medicine and Biology* (3 vols.), MIT, Press, 1973.
- BERTALANFFY, L. von: *General System Theory*, Ed. George Braziller, N.Y., 1973 (1.^a ed., de 1968). Hay traducción al castellano.
- CROMER, A.H.: *Física para las Ciencias de la vida*, Ed. Reverté, Barcelona, 1974.
- FERNANDEZ, E.; MARTINEZ, A. y MORALES, M. J.: *Problemas introductorios de Física aplicada a la Biología*, Facultad de Veterinaria de Zaragoza, Departamento de Ciencias Fisiológicas, enero, 1979.
- GERWIN, R.: *Autómatas inteligentes*, Eds. Daimo, Madrid.
- GONZALEZ IBEAS, J.: *Introducción a la Física y Biotísica*, Ed. Alhambra, Madrid, 1974.
- LASKOWSKI, W. y POHLIT, W.: *Biofísica*, Ed. Omega, Barcelona, 1976.
- MOYER, W. A.: *Biophysical Science Activities for the High School*, Prentice-Hall, 1971.
- NUFFIELD FOUNDATION: *Curso de Biología*, Ed. Omega, Barcelona, 1970 dirigido a alumnos de 11-16 años).
- PAGE, R. L.: *The Physics of Human Movement*, Wheaton, Exeter, 1978.
- PALACIOS, Julio: *Física para médicos*, Ed. Hernando, 1952.
- VARIOS AUTORES: *Biophysics*, Benjamin, Nueva York, 1969.

MATEMATICAS B. U. P. SOMOSAGUAS

Matemáticas
1º bachillerato

Matemáticas
2º bachillerato

Matemáticas
3º bachillerato

- 1.º BACHILLERATO 450 Ptas
D. Prada, P. Bujanda y otros
- SOLUCIONARIO 400 Ptas.
- 2.º BACHILLERATO 455 Ptas.
D. Prada, P. Bujanda y otros
- LIBRO DE PROBLEMAS Y SOLUCIONARIO 575 Ptas.
- 3.º BACHILLERATO 470 Ptas.
P. Cela
- LIBRO DE PROBLEMAS Y SOLUCIONARIO 600 Ptas.

