

I/6921

GONZALEZ GALLEGO, JAVIER AYUDAS 89

MEMORIA FINAL DEL PROYECTO

"DISEÑO Y EVALUACION DE UN PROGRAMA INTERACTIVO
PARA LA DOCENCIA DE LA BIOLOGIA ANIMAL EN
ENSEÑANZAS MEDIAS Y UNIVERSITARIAS"

Convocatoria de ayudas a la investigación educativa de 1989

(B.O.E. de 15 de Febrero de 1989)

Miembros del equipo:

Javier González Gallego

Juan Pablo Barrio Lera

Ana Isabel Alvarez de Felipe

Luis Ariel García Pardo

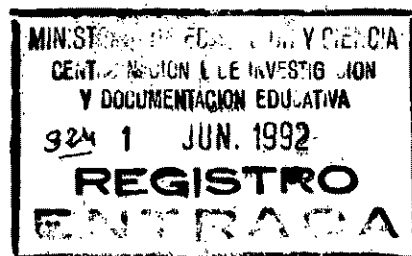
Elena Rituerto Cuerda

Jose Antonio López Alonso

Contiene : - VIDEO
- DISKETTE



B.71652



A. INTRODUCCION.....	3
B. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	6
C. INSTRUMENTOS UTILIZADOS	7
1. Quimógrafo	7
2- Unidad de respiración asistida	8
3- Jaula metabólica para roedores.....	9
4- Balanza electrónica conectable a ordenador	9
5- Ordenador personal IBM PC compatible	10
6- Cámara de vídeo y accesorios.....	11
D. ELABORACION DE PROGRAMAS DE ORDENADOR.....	12
1. SIMULACION DEL POTENCIAL DE ACCION	12
Formulación en BASIC	13
2. REGISTRO AUTOMATICO DE LA INGESTION DE ALIMENTO.....	18
Formulación en BASIC.....	19
E. ACTIVIDADES PRACTICAS Y PELICULAS DE VIDEO.....	26
1. REGULACION CARDIOVASCULAR: FACTORES NERVIOSOS Y HUMORALES	26
Guión de la película	26
2. PAUTAS DE INGESTION.....	33
Guión de la película	33
F. EVALUACION DE LOS RESULTADOS.....	40
G. BIBLIOGRAFIA.....	41

A. INTRODUCCION

El material audiovisual engloba un amplio espectro de elementos cuya introducción en la enseñanza universitaria y no universitaria se va llevando a cabo de forma paulatina y aún no masiva. La explicación es diversa: falta de preparación del profesorado, coste elevado en muchos casos, escasez de instrumentos adecuados y sobre todo concepción infravalorada de estos medios.

Sin embargo, las ventajas de estas técnicas son innumerables. Constituyen una gran ayuda para presentar de forma adecuada el proceso de enseñanza-aprendizaje, contribuyendo a que una sesión particular de aprendizaje se haga con más claridad y precisión. Por otro lado, son una ayuda a la demostración, pues con esos medios se consigue transmitir la realidad o una simulación de la misma con mayor precisión que con la simple exposición teórica. Igualmente, contribuyen a solucionar problemas logísticos. Muchas dificultades organizativas y prácticas actuales, como número de alumnos por profesor, problemas de audición, etc., se simplifican con la flexibilidad y variedad de posibilidades de estos medios.

Aparte de las indudables ventajas didácticas que presentan, hay otras razones para pedir y justificar la plena utilización de los medios audiovisuales en la enseñanza universitaria y no universitaria. Su uso acabará con el mito del docente como único depositario de todos los saberes, al suplirlo con ventaja en situaciones sobre todo informativas.

El objeto del presente proyecto era la utilización de dos de estos medios audiovisuales de absoluta actualidad: ordenadores y sistemas de video, para una docencia de la Biología Animal interactiva y con una participación lo más activa posible de los alumnos.

No vamos a hacer prácticamente ninguna consideración acerca de los sistemas de video, pues para todos resulta evidente su importancia como complemento de la docencia teórica y para una visualización de experimentos o demostraciones que por sus especiales características no puedan desarrollarse de forma rutinaria en el laboratorio.

De mayor complejidad es la cuestión relativa a la utilización de medios informáticos. La introducción a lo largo de la última década de microordenadores de coste lo suficientemente bajo como para permitir su uso a nivel personal, ha permitido llevar a las manos de cualquier docente de la biología estos instrumentos de matemática aplicada. La simplicidad de la programación en BASIC, y la capacidad de computación ofrecida por la memoria y capacidad de almacenamiento de estos instrumentos ofrece la posibilidad de experimentación matemática a los no especialistas.

Las virtudes y los inconvenientes que puede ofrecer la utilización de los modelos matemáticos es un debate continuo en Biología Animal, lo mismo que en otras ciencias biológicas. C. J. Dickson, discutía ya hace 15 años en su libro "Computer Model of Human Respiration" los aspectos filosóficos de la utilización de ordenadores para la enseñanza de la Fisiología, dejando bien clara la importancia de poder abordar la solución de problemas sin necesidad de ningún tipo de habilidades matemáticas. Los individuos con una formación en ciencias físicas aceptan los modelos matemáticos como una forma de codificar hechos y como mecanismos para predecir ejecuciones bajo circunstancias cambiantes. Otros prefieren pensar en términos de observaciones experimentales directas sin abstracciones precisas.

Las posibilidades didácticas del ordenador quedan comprendidas en una serie de puntos. En primer lugar, es muy difícil para la mente humana seguir la pista a una serie de variables que están interaccionando a medida que se modifican con el tiempo; cuando estas interacciones se pueden precisar con seguridad, los modelos por ordenador permiten una aproximación en mayor profundidad que la que pueden aportar simples argumentos intuitivos. Por otro lado, la elaborada preparación previa de los programas convierte su enseñanza en un todo coherente y lógico, nada queda al azar y los contenidos se encadenan de manera sistemática. Es un método activo por excelencia en el que las dificultades no pueden soslayarse y su resolución es requisito imprescindible para proseguir el aprendizaje.

Como ocurre con la generalidad de las innovaciones tecnológicas, y en especial con los sistemas que pueden suponer un cambio en la

estructura docente, la enseñanza por ordenador está sometida a fuerte polémica, en especial por lo que se refiere a su posible sustitución del profesor, lo que nos parece poco probable. El ordenador deberá más bien reducir su actividad a transmitir ciertos conocimientos de carácter lógico, técnico o normativo que pueden inculcarse con la repetición y a controlar su adquisición.

Una limitación importante que no se debe olvidar es que hay que tener siempre en mente que cuando se utilizan simulaciones por ordenador los parámetros de la simulación se determinan en cada momento recurriendo a una serie de ecuaciones matemáticas que representan un sistema no totalmente biológico. En una simulación propiamente dicha debería existir una representación fiel de los sistemas biológicos en todos sus detalles y evidentemente hoy día eso es una utopía, ya que prácticamente ningún sistema biológico se conoce en su totalidad. Las simulaciones por ordenador serán instrumentos efectivos siempre y cuando los alumnos sepan y estén informados de cuáles son los límites del programa.

B. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1) Elaboración de programas de simulación por ordenador de diferentes fenómenos fisiológicos de los organismos animales, permitiendo un acercamiento práctico a los conocimientos de Biología Animal. Se han desarrollado en concreto programas para el estudio de:

- a) Simulación del potenciales de acción.
- b) Registro automático de la ingestión de alimento.

2) Realización de prácticas de laboratorio con manejo de animales de experimentación en el caso de enseñanzas universitarias. A nivel de enseñanzas medias, donde las posibilidades de disponer de animales de experimentación son menores, se han grabado han sistema de video actividades prácticas que se proyectaron ante los alumnos antes de abordar el trabajo con ordenador.

3) Previamente a la realización de las prácticas mediante ordenador se dio información teórico-demostrativa sobre manejo de ordenadores y bases generales de programas de manejo de datos, así como de los métodos informáticos de simulación de sistemas biológicos (de nuevo con distintos niveles de complejidad según los alumnos).

4) El grado de aceptación por parte de los alumnos se evaluó mediante cuestionarios que se respondían una vez realizadas las actividades prácticas.

C. INSTRUMENTOS UTILIZADOS

En el desarrollo del presente Proyecto se han empleado los siguientes instrumentos:

- 1- Quimógrafo
- 2- Unidad de respiración asistida
- 3- Jaula metabólica para roedores
- 4- Balanza electrónica conectable a ordenador
- 5- Ordenador personal IBM PC compatible
- 6- Cámara de vídeo y accesorios

Estos instrumentos son descritos en profundidad en las secciones siguientes. No se ha incluido en la lista aquellos materiales de uso general en un laboratorio de docencia biomédica tales como instrumental quirúrgico, baños termostatados o reactivos químicos.

1. Quimógrafo

El quimógrafo es un instrumento indispensable para la visualización y registro de cualquier actividad orgánica que tenga como resultado el movimiento de estructuras, como por ejemplo en el estudio de la contracción cardíaca o los movimientos respiratorios. Se caracteriza por poseer un tambor rotatorio con velocidad de rotación variable al que se aplica una cinta de papel; sobre esta cinta, una plumilla con tinta china va registrando el movimiento en cuestión, estando el órgano acoplado a la plumilla mediante un sistema de palancas. El acoplamiento órgano-plumilla debe realizarse de forma que presente la menor inercia posible, a fin de evitar artefactos y conseguir que se registre solamente el movimiento observado (latidos del corazón, etc.); esto se obtiene en general aplicando contrapesos.

En nuestro caso hemos utilizado un quimógrafo HARVARD, modelo *Universal*, capaz de mover un tambor de 500 mm de circunferencia a

velocidades comprendidas entre 5 y 62.5 mm/s. Este quimógrafo presenta un estimulador eléctrico incluido en la propia unidad, capaz de emitir una onda cuadrada con todos sus parámetros programables: frecuencia (0,1-100 Hz), amplitud (0-25 V) y anchura del pulso (0,05-5 ms). La aplicación del estímulo eléctrico se efectúa mediante sendos electrodos (señal y masa) separados entre sí 5 mm. El estimulador es importante siempre que se pretenda estudiar la respuesta de un órgano o tejido frente a la corriente eléctrica; por ejemplo, gracias al estimulador ha sido posible estudiar la respuesta eléctrica del músculo esquelético y la estimulación eléctrica del nervio vago con sus efectos asociados en la frecuencia de contracción del músculo cardíaco y la frecuencia respiratoria.

La conexión entre el corazón o músculo diafragma se realizó mediante una pinza unida a través de un hilo con una palanca; esta palanca presenta en un extremo una plumilla con tinta y en el otro extremo un contrapeso variable y un muelle; debido a estos elementos su peso eficaz es prácticamente nulo, por lo que solamente responde a la variación en la tensión del hilo y por consiguiente al movimiento del órgano a ella conectado.

2- Unidad de respiración asistida

Siempre que se efectúan operaciones en las que se interviene la caja torácica es preciso utilizar respiración asistida, esto es, el animal debe recibir y expulsar el aire pulmonar a través de una bomba especializada. Se ha utilizado para este fin un respirador SRI (Panlab SA, Barcelona) para pequeños animales, que consiste básicamente en un motor eléctrico que acciona dos pistones de acción recíproca, esto es, uno de ellos impulsa aire mientras que el otro lo succiona. La entrada y salida de aire se realiza a través de sendas espitas conectadas mediante un tubo en Y a la tráquea del animal. El flujo de aire es variable gracias a un sistema de ruedas reductoras conectadas por correa al motor; el ajuste previo del aparato se realiza partiendo de la velocidad mínima hasta observar un movimiento pulmonar equivalente al del animal anestesiado sin operar.

3- Jaula metabólica para roedores

De múltiples usos, las jaulas metabólicas han sido empleadas en nuestro Proyecto para el mantenimiento de ratas durante períodos prolongados de tiempo durante los cuales interesaba registrar continuamente el consumo de alimento. Estas jaulas (Panlab SA, Barcelona) permiten mantener un animal con su comedero y bebedero y recoger el alimento y agua no ingeridos, así como recoger heces y orina en recipientes separados, aprovechando el deslizamiento de la orina a través de las paredes de un embudo. En nuestro caso, la jaula metabólica ha sido adaptada a fin de posibilitar el registro del consumo de alimento; la adaptación ha consistido en fijar el comedero a la balanza de registro (descrita en la siguiente sección) manteniendo entre el comedero y la jaula la mínima separación posible pero al mismo tiempo evitando el contacto físico entre ambos.

4- Balanza electrónica conectable a ordenador

En la actualidad existe una oferta múltiple de balanzas electrónicas capaces de ser conectadas a un ordenador y posibilitar así una lectura continua del peso aplicado a ellas. Se han utilizado en nuestro proyecto balanzas SALTER EW-300B debido a su favorable relación calidad/precio y a una serie de características entre las que destacan su amplia base para colocar el peso (en nuestro caso el comedero del animal), la precisión en la medida (0,1 g) y estar dotada de alimentación por batería recargable o a través de la red.

La balanza tiene un rango de medida de hasta 300 g, que se ve reducido a unos 100 g debido al peso del comedero; no obstante, esto es más que suficiente para registrar el consumo diario de pienso por una rata.

La conexión entre la balanza y el ordenador se realiza a través de un conector standard DB25 y el formato de los datos es serial, siendo la transmisión de los mismos conforme a las normas RS232-C a 2400 baudios, 7 bits de datos, 2 bits de parada y sin paridad. Solamente se

utilizan los terminales de masa (GND) y de recepción de datos (RX), ya que la interface provista con la balanza es unidireccional (esto es, la balanza puede enviar datos pero no puede recibir instrucciones de control).

Una característica fundamental de este modelo de balanza electrónica es su capacidad de discriminar la estabilidad del dato registrado, esto es, la posibilidad de saber si el peso colocado está inmóvil o bien en movimiento; este hecho se ha utilizado en el programa de control que recoge y registra continuamente el peso (descrito más adelante), puesto que el comedero está estable siempre que el animal no realiza actividad sobre el mismo; de esta manera se puede instruir al ordenador para que solamente recoja los datos que provengan de la balanza cuando el animal acceda al comedero y deseche todos aquellos datos (la mayor parte del día) en que el animal no está comiendo.

5- Ordenador personal IBM PC compatible

Dentro de las múltiples configuraciones de los ordenadores personales, tanto en lo que hace referencia a las capacidades de memoria, de almacenamiento de datos o de visualización gráfica, en el marco del presente Proyecto ha sido suficiente un ordenador tipo XT (esto es, con microprocesador 8088 y 640 Kbytes de memoria) dotado de placa gráfica tipo Hércules con 720x348 pixels de resolución, disco duro de 10 Mb y unidad de disquettes de 5 1/4 " y 360 Kbytes de capacidad para registrar el consumo de alimento según se ha comentado en las dos secciones antecedentes. La velocidad de proceso del ordenador (8 MHz) fue suficiente para el registro simultáneo del consumo de alimento por dos ratas en sendas jaulas metabólicas y balanzas electrónicas.

Los detalles relativos al programa de control para la adquisición y registro automáticos del consumo de alimento se proporcionan en otro apartado de la presente Memoria.

Para la titulación de las películas de video que ilustran los resultados prácticos del presente Proyecto, sin embargo, se recurrió a un ordenador más potente, dotado de procesador 80386 y placa gráfica tipo

VGA capaz de proporcionar 256 colores simultáneos a una resolución de 320 x 200 pixels. Este ordenador emitía información gráfica en un formato apropiado para su grabación en un aparato de video bajo el sistema VHS PAL.

6- Cámara de vídeo y accesorios

Se ha utilizado una cámara de video (sistema Video 8) para la filmación de las sesiones prácticas de laboratorio. La cámara dispone de un zoom 8x y un objetivo adicional gran angular (0,5x) y tele (1,5x), con lo que se dispone de una gran flexibilidad en la toma de secuencias tanto panorámicas como a corta distancia. El uso de un trípode permitió disminuir las vibraciones en la filmación.

Las secuencias fueron montadas en la secuencia correcta con la ayuda de un aparato de video estéreo VHS dotado de la función de inserción de imágenes. Los distintos títulos fueron creados por ordenador y grabados en sus posiciones apropiadas gracias a un convertidor VGA-vídeo que, intercalado entre el ordenador y el monitor VGA, emite una señal de video transformada hacia un euroconector. De este modo, una de las fuentes de imágenes para el aparato de vídeo provenía del ordenador utilizado como titulador, en tanto que la otra consistía en la señal de video compuesto otorgada por la cámara de vídeo, pudiéndose grabar de una u otra fuente de imagen accionando un conmutador. La sonorización de cada película se logró enviando la voz y la música de fondo por separado hacia los dos canales de entrada de sonido del aparato de video.

D. ELABORACION DE PROGRAMAS DE ORDENADOR

Se acompaña diskette con ambos programas, elaborados en el lenguaje BASIC, grabados en formato ASCII y compilables utilizando el compilador QuickBASIC 4.5.

1. SIMULACION DEL POTENCIAL DE ACCION

El modelo de Hodgkin y Huxley de excitación en el nervio del calamar para explicar el desarrollo de los potenciales de acción en la transmisión nerviosa, es un concepto que ha permanecido en los libros de texto más de 30 años. El modelo implica formulaciones de los cambios en la conductancia de membrana dependientes de tiempo y voltaje. La elaboración de una simulación por ordenador basada en las formulaciones de las corrientes de sodio y potasio tras un estímulo, dará a los estudiantes una visión más clara de las propiedades de los tejidos excitables y de los mecanismos responsables del umbral excitatorio.

El programa elaborado tiene un doble objetivo. En primer lugar permite el uso del ordenador con registros gráficos para simular potenciales de acción en nervios de rata. La rutina del programa requiere la amplitud y duración de dos estímulos eléctricos separados en el tiempo. El modelo resuelve a continuación las conductancias de la membrana para sodio y potasio, y el potencial de transmembrana que cabría esperar a consecuencia de los estímulos. La amplitud de los estímulos y el potencial de membrana aparecen en la pantalla de forma similar a los registros de osciloscopios utilizando tejidos vivos. La simulación permite, de este modo, el que los estudiantes pueden investigar de forma autónoma las propiedades de la excitación axónica.

Un segundo rasgo importante de la simulación es que permite visualizar los mecanismos hipotéticos implicados en la excitación de una forma que no se puede llevar a la práctica con preparaciones animales. Por ejemplo, los gráficos de la conductancia de membrana muestran las diferencias temporales en las modificaciones de las permeabilidades de sodio y potasio y la forma en que no se dan respuestas a los estímulos durante el período refractario. Las presentaciones tabulares de las

corrientes de membrana ilustran que el umbral es la situación en que la entrada de sodio al axón excede la pérdida de potasio en una forma autoregenerativa. Además, al estar el programa escrito en BASIC, esta codificación de pasos lógicos e iterativos es una forma de transmitir la esencia dinámica del proceso de excitación.

La efectividad de la simulación subyace en la persistencia del trabajo clásico de Hodgkin y Huxley sobre el axón del calamar, que fue publicado en 1952 en una serie de cuatro artículos. Los tres primeros establecían las relaciones empíricas de la dependencia de tiempo y voltaje en los cambios de conductancia de la membrana. El cuarto ponía de manifiesto mediante simulación, que la cinética del proceso podía establecerse en términos cuantitativos. Estas formulaciones, aunque modificadas en sus detalles, todavía son el modelo estandar para una amplia serie de propiedades fisiológicas tales como umbral, sumación, períodos refractarios, acomodación, frecuencia de descarga, etc..

Formulación en BASIC

```

1
'=====
=====
2 '= POTACC -----
----- =
3
'=====
=====
4 '
5 ' Simulacion del potencial de accion.
6 ' Permite efectuar dos estimulaciones separadas por un
   retardo variable.
7 ' Representa graficamente el potencial de membrana y las
   conductancias
8 ' a los iones sodio y potasio.
9 '
14 ' Mandos:

```

```

15 ' 0 - Detener el grafico; a continuacion: INTRO -
introducir datos, o
16 '                                     R -
reproducir grafico
17 '
18 '::::::::::::::::::::::::::: INTRODUCCION DE DATOS
:::::::::::::::::::::::::::
19 '
20 SCREEN 2:CLS
80 KEY OFF
90 DIM P(640),K(640),N(640)
100 T=0:DT=1/11:MV=-90:X=31:FIN=0
110 PRINT STRING$(80,"=");
120 PRINT "                                     POTENCIAL DE ACCION
AXONICO";
130 PRINT STRING$(80,"=");
170 LOCATE 6,10:PRINT "INTRODUCIR PARAMETROS DE
ESTIMULACION:"
180 LOCATE 9,5:INPUT "ESTIMULO 1 ";SA1:LOCATE 9,30:PRINT
"mV"
190 LOCATE 11,5:INPUT "DURACION ";SD1:LOCATE 11,30:PRINT
"ms"
200 LOCATE 13,5:INPUT "RETARDO ";DLY:LOCATE 13,30:PRINT
"ms"
210 LOCATE 15,5:INPUT "ESTIMULO 2 ";SA2:LOCATE 15,30:PRINT
"mV"
220 LOCATE 17,5:INPUT "DURACION ";SD2:LOCATE 17,30:PRINT
"ms"
221 '
222 '::::::::::::::::::::::::::: FORMULACION DEL MODELO
:::::::::::::::::::::::::::
223 '
230 V=-MV-90
240 BN=.125*EXP(V/80)
250 BM=4*EXP(V/18)
260 V=(V+30)/10:BH=1/(EXP(V)+1)
270 V=V-2:AN=.1*V/(EXP(V)-1)

```

```

280 V=V+1.5:AM=V/(EXP(V)-1)
290 V=10*V-25:AH=.07*EXP(V/20)
300 N=AN/(AN+BN)
310 M=AM/(AM+BM)
320 H=AH/(AH+BH)
330 GK=36*N*N*N*N
340 GNA=120*M*M*M*M*H
350 IT=GK*(V-12)+GNA*(V+115)+.3*V+3.18
359 '
360 ':::::::::::::::::::::: GRAFICO
:::::::::::::::::::::::::::::
361 '
370 CLS
380 LINE (32,20)-(639,199),1,B
390 LOCATE 9,1:PRINT"GNa":LOCATE 11,1:PRINT"GK"
400 LOCATE 14,1:PRINT"mV":LOCATE 16,3:PRINT"0"
410 FOR I=0 TO 12:LINE (34,180-I*5.8)-(38,180-I*5.8):NEXT I
420 LINE (32,122)-(42,122)
430 LINE (455,20)-(639,58),1,B
440 LOCATE 1,1:PRINT"Estimulo 1: ";SA1;" mV";
441 PRINT TAB(30);"Estimulo 2: ";SA2;" mV";
442 PRINT TAB(60);"Retardo: ";DLY;" ms";
450 LOCATE 2,1:PRINT"Duracion      ";SD1;" ms";
451 PRINT TAB(30);"Duracion      ";SD2;" ms";
460 LINE (0,100)-(639,100)
470 MS=0:ST1=0:ST2=0:PMA1=-100:PMA2=-100
480 FAC=122
490 POT=.57
500 P(X)=FAC-MV*POT:N(X)=80-GNA
509 '
510 ':::::::::::::::::::::: ITERACION
:::::::::::::::::::::::::::::
511 '
520 WHILE FIN=0
530 MS=MS+.01
540 LOCATE 5,60:PRINT "t = ";;PRINT USING
"##.##";MS;;PRINT" ms"

```

```

550 IF MS*10-INT(MS*10)<=.1 AND MS<>MS1 THEN LINE
(X+1,100)-(X+1,95):MS1=MS
560 X=X+1
570 P(X)=FAC-MV*POT:LINE (X,P(X-1))-(X,P(X))
571 IF MV>PMA1 AND ST2=0 THEN GOSUB 891
580 IF MV>PMA2 AND ST2<>0 THEN GOSUB 893
590 K(X)=90-GK:PSET (X,K(X))
600 N(X)=70-GNA:LINE (X,N(X-1))-(X,N(X))
610 LOCATE 4,60:PRINT "P  =";:PRINT USING
"+###.##";MV;:PRINT" mv"
620 IF T<SD1 THEN ST1=X:PSET (X,35)
630 IF T>=DLY+SD1 AND T<DLY+SD1+SD2 THEN ST2=X:PSET (X,35)
640 IF X>639 THEN FIN=1
650 V=-MV-90
660 BN=.125*EXP(V/80)
670 BM=4*EXP(V/18)
680 V=(V+30)/10:BH=1/(EXP(V)+1)
690 V=V-2:AN=.1*V/(EXP(V)-1)
700 V=V+1.5:AM=V/(EXP (V)-1)
710 V=10*V-25:AH=.07*EXP(V/20)
720 N=N+(AN-(AN+BN)*N)*DT
730 M=M+(AM-(AM+BM)*M)*DT
740 H=H+(AH-(AH+BH)*H)*DT
750 GK=36*N*N*N*N
760 GNA=120*M*M*M*H
770 IT=GK*(V-12)+GNA*(V+115)+.3*V+3.18
780 IF T<SD1 THEN IT=IT+SA1
790 IF T>=DLY+SD1 AND T<DLY+SD1+SD2 THEN IT=IT+SA2
800 DV=IT*DT/2:V=V-DV:MV=-V-90
810 IF MAR=1 THEN MV=MV+RIT
820 T=T+DT
830 IF INKEY$="0" THEN FIN=1:' ----- FIN DEL
GRAFICO -----
840 WEND
850 A$=INKEY$:IF A$="" THEN 850
860 IF A$="R" OR A$="r" THEN 900:' -----
REPETICION GRAFICO ----

```



```

870 IF SW=1 THEN SW=0:IF A$="C" OR A$="c" THEN FIN=0:GOTO
520
880 RUN
890 END
891 PMAX1=MV:LOCATE 6,59:PRINT"Pm1 =";USING
"+###.##";PMAX1;:PRINT" mV"
892 RETURN
893 PMAX2=MV:LOCATE 7,59:PRINT"Pm2 =";USING
"+###.##";PMAX2;:PRINT" mV"
894 RETURN
897 '
898 '::::::::::::::::::::: REPETICION DEL GRAFICO
:::::::::::::::::::::
899 '
900 CLS
910 LINE (32,20)-(639,199),1,B
920 LOCATE 9,1:PRINT"GNa":LOCATE 11,1:PRINT"GK"
930 LOCATE 14,1:PRINT"mV":LOCATE 16,3:PRINT"0"
940 FOR I=0 TO 12:LINE (34,180-I*5.8)-(38,180-I*5.8):NEXT I
950 LINE (32,122)-(42,122)
960 LINE (455,20)-(639,58),1,B
970 LOCATE 1,1:PRINT"Estimulo 1: ";SA1;" mV";
971 PRINT TAB(30);"Estimulo 2: ";SA2;" mV";
972 PRINT TAB(60);"Retardo: ";DLY;" ms";
980 LOCATE 2,1:PRINT"Duracion      ";SD1;" ms";
981 PRINT TAB(30);"Duracion      ";SD2;" ms";
990 LINE (0,100)-(639,100)
1000 LOCATE 6,59:PRINT"Pm1=";INT(PMAX1*100)/100;" mV"
1010 LOCATE 7,59:PRINT"Pm2=";INT(PMAX2*100)/100;" mV"
1020 FOR I=33 TO X
1030 LINE (I,P(I-1))-(I,P(I))
1040 LINE (I,N(I-1))-(I,N(I))
1050 PSET (I,K(I))
1060 NEXT I
1070 SW=1
1080 GOTO 850

```

2. REGISTRO AUTOMATICO DE LA INGESTION DE ALIMENTO

Los mamíferos ingieren el alimento en fases discontinuas. Disponiendo del equipamiento adecuado, es posible registrar la actividad de ingestión de los animales durante períodos de tiempo prolongados. Los animales se mantienen en jaulas individuales, en las que se disponen compartimientos para el agua y el alimento. Los métodos de registro de la ingestión se basan en el registro del peso del recipiente del alimento o el agua y de este modo controlar el nivel de vaciamiento del recipiente debido a la ingestión. Esto puede hacerse manualmente (anotando periódicamente el peso del recipiente de alimento o de agua) y automáticamente. Los métodos automáticos exigen el uso de un ordenador. El recipiente se halla situado sobre una balanza que envía continuamente datos al ordenador. Los métodos varían respecto al tipo de balanza y el tipo de conexión al ordenador.

El registro de la ingestión se efectúa durante un tiempo determinado, normalmente un día. Las gráficas que se obtienen presentan los datos del peso del recipiente en función del tiempo, de modo que existe un eje de abscisas en el que se representa el tiempo (en nuestro caso en horas), y un eje de ordenadas en el que se representa el peso del recipiente, o (como en nuestro caso) el peso del alimento ingerido. A partir de las gráficas obtenidas se aprecian *zonas de actividad*, es decir, zonas en las que el registro muestra altibajos debidos a los movimientos del animal en el recipiente, y *zonas de inactividad*, en las que el registro es aproximadamente plano y el recipiente se mantiene estable. Las zonas de actividad son normalmente zonas en las que tiene lugar ingestión, pero también pueden ser simples movimientos del recipiente por empujones, etc. Obviamente, las zonas de inactividad implican ausencia de ingestión. Sin embargo, la consideración de ambas zonas nos indica dos de los parámetros esenciales en el estudio de la ingestión, a saber: la **duración** de cada comida y el **tamaño** de la misma. El punto de referencia es la zona de actividad. Si las zonas de inactividad inmediatamente anterior y posterior a una zona de actividad determinada permanecen en el mismo nivel respecto al eje de ordenadas, entonces la zona de actividad no refleja actividad de ingestión, puesto

que no ha habido variación en el peso del recipiente. Si, por el contrario, la zona de inactividad posterior está situada a un nivel superior al de la zona de inactividad inferior, entonces deduciremos que ha existido una actividad de ingestión, o sea, ha tenido lugar una comida. En este caso, la duración de la comida vendrá dada por el tiempo que media entre el final de la zona de inactividad anterior y el principio de la zona de inactividad posterior a la zona de actividad considerada. Asimismo, el tamaño de la comida se calculará a partir de la diferencia entre los niveles de peso del recipiente en ambas zonas de inactividad.

El programa presentado realiza las funciones de lectura y grabación automáticas del peso de los comederos acoplados a dos balanzas electrónicas. Estas balanzas se encuentran conectadas, respectivamente, a los puertos serie COM1 y COM2 de un ordenador personal tipo IBM/XT, con un flujo de datos de 2400 baudios.

El programa presenta los datos más recientemente capturados en dos ventanas de texto, y simultáneamente se presenta su relación gráfica con los datos previos en la parte inferior de la pantalla, en función del tiempo transcurrido. Cuando la gráfica trazada sobrepasa el límite derecho de la pantalla, ésta se borra, continuando la representación gráfica desde la izquierda.

El programa contiene instrucciones para que solamente se almacenen en el ordenador los datos emitidos por las balanzas cuando los animales actúan sobre los comederos, junto con el tiempo al cual esta actividad tiene lugar. Con ello se evita la grabación repetitiva de datos idénticos cuando los comederos están en reposo.

Formulación en BASIC

```

1
'=====
=====
2 '= BALRAT -----
----- =

```

3

```
'=====
=====
```

4 'Programa para el registro automático del peso de los comederos de dos

5 'jaulas metabólicas para rata a través de sendas balanzas SALTER EW300B

6 'conectadas a su vez con un respectivo puerto serie de un IBM PC.

100 KEY OFF

101 '- deshabilita la línea inferior del intérprete BASIC.

110 SCREEN 2

111 '- pantalla gráfica monocroma

115 FX=720

116 '- FX es la anchura de la pantalla: 720 (tipo Hércules), 640 (tipo EGA)

120 PRINT "LECTURA Y GRABACION DE DATOS DESDE DOS BALANZAS SALTER EW300B"

130 LOCATE 4,1:PRINT "Fichero donde se grabará la información de la balanza 1: ";

131 INPUT FILE1\$

132 LOCATE 5,1:PRINT "Fichero donde se grabará la información de la balanza 2: ";

133 INPUT FILE2\$

134 '- Entrada de los nombres de los ficheros a utilizar

145 LOCATE 5,1:PRINT SPACE\$(70)

146 LOCATE 4,1:PRINT SPACE\$(70):LOCATE 4,1:INPUT "Hora actual ";HORA\$

147 '- Entrada de la hora de inicio del registro

147 NUMDIAS=0

148 '- Inicialización de la variable que indicará el número de días de registro

150 OPEN FILE1\$ FOR APPEND AS #3

151 OPEN FILE2\$ FOR APPEND AS #4

152 '- Apertura de los ficheros que recogerán los datos

155 PRINT #3, HORA\$

156 PRINT #4, HORA\$

157 '- La primera línea de cada uno de ellos será la hora de inicio del registro

160 X=1

161 '- X es la posición horizontal en la pantalla gráfica (=1 al comienzo)

170 LOCATE 4,1:PRINT SPACE\$(70)

180 ON ERROR GOTO 420

181 '- El filtro de detección de errores comienza en la línea 420

190 INICIO=1:TIME\$="0"

191 '- El contador de tiempo se pone a cero

200 GOSUB 440

201 '- Dibujo de los dos cuadros que albergan el dato del peso en cada instante

210 GOSUB 520

211 '- Recuadro gráfico en la parte inferior de la pantalla

220 OPEN"com1:2400,e,7,1,ds" AS #1

222 OPEN"com2:2400,e,7,1,ds" AS #2

223 '- Apertura de los canales serie

250 XA\$=A\$:LINE INPUT #1,A\$:XB\$=B\$:LINE INPUT #2,B\$

251 '- Lectura de los datos enviados por las balanzas y salvaguardia de los previos

252 ' A\$ es la variable de los datos de la primera
balanza, y XA\$ su salvaguardia

255 H0=VAL(LEFT\$(XA\$,2))

256 H2=VAL(LEFT\$(A\$,2)):IF H2<H0 THEN NUMDIAS=NUMDIAS+1

257 '- Según el formato de los datos enviados, los dos
primeros caracteres

258 ' corresponden a la hora. El ordenador pone a cero la
hora al llegar a

259 ' medianoche, de modo que hay un tránsito desde '23'
hasta '00'. Por tanto,

260 ' si se detecta que la hora recién registrada es menor
que la hora previa,

261 ' ello significa que se ha incrementado un día.

257 H2=H2+24*NUMDIAS:MID\$(A\$,1,2)=RIGHT\$(STR\$(H2),2)

258 '- Interesa que las horas vayan aumentando
correlativamente, por lo que

259 ' la variable H2 se corrige y con ella el dato
almacenado en A\$

260 XD1\$=D1\$:INPUT #1,D1\$:XE1\$=E1\$:INPUT #2,E1\$

261 '- El segundo dato que envía la balanza es una
indicación de la estabilidad

262 ' del peso registrado: "ST": estable; "US": inestable;
"OL": sobrecarga

270 XD2\$=D2\$:INPUT #1,D2\$:XE2\$=E2\$:INPUT #2,E2\$

271 '- El tercer dato son las unidades del peso: gramos (g)
u onzas (oz)

280 PRINT:INPUT #1,A\$:INPUT #2,B\$

281 '- El cuarto dato entregado por la balanza es
finalmente el peso registrado

290 XTIME\$=TIME\$:GOSUB 350

291 '- Salvaguardia del tiempo del registro previo, y
traducción (línea 350 en
292 ' adelante) de los códigos de estabilidad de la
balanza

300 LOCATE 10,5:PRINT A\$;" ";D2\$;" ";M1\$
301 LOCATE 10,35:PRINT B\$;" ";E2\$;" ";N1\$
302 '- Impresión de los datos en la pantalla: peso, unidad,
estabilidad

305 IF D1\$="ST" THEN F1=0 ELSE F1=1
306 '- F1 es una señal de la cualidad del peso registrado:
su valor es
307 ' cero cuando el dato es estable

308 IF XD1\$="ST" AND F1=1 THEN PRINT
#3,XTIME\$,XA\$,XD1\$,XD2\$
309 '- Si el peso anterior era estable pero el actual no,
entonces graba en
disco el último valor estable registrado

310 IF D1\$="US" THEN PRINT #3,TIME\$,A\$,D1\$,D2\$
311 '- A partir del último valor estable, graba en disco
todos los datos inestables
312 ' (que van a indicar actividad del animal sobre el
comedero)

313 IF E1\$="ST" THEN F2=0 ELSE F2=1
314 IF XE1\$="ST" AND F2=1 THEN PRINT
#4,XTIME\$,XB\$,XE1\$,XE2\$
315 IF E1\$="US" THEN PRINT #4,TIME\$,B\$,E1\$,E2\$
316 '- Consideraciones análogas a las de las líneas 305,
308 y 310

320 INICIO=0
330 Y=300-VAL(A\$)/2
331 Z=300-VAL(B\$)/2

```
332 '- Valor relativo del peso para su representación
gráfica

340 PSET (X,Y):PSET (X,Z-20):X=X+1
341 '- Coordenadas del punto representativo del peso. Se
incrementa X en
342 ' preparación del próximo dato.

343 IF X>(FX-1) THEN X=1:SCREEN 0:SCREEN 2:GOSUB 440:GOSUB
520:GOTO 380
344 '- Si X llega al límite de la pantalla, ésta se borra y
comienza de nuevo
345 ' la gráfica a la izquierda (X=1).

346 GOTO 380
347 '- Continúa el programa en la línea 380

350 IF D1$="US" THEN M1$="(inestable) "
351 IF E1$="US" THEN N1$="(inestable) "
360 IF D1$="ST" THEN M1$="(estable) "
361 IF E1$="ST" THEN N1$="(estable) "
370 IF D1$="OL" THEN M1$="(sobrecarga)"
371 IF D1$="OL" THEN N1$="(sobrecarga)"
372 RETURN
373 '- Subrutina de traducción de los códigos de
estabilidad

380 LOCATE 13,60:PRINT "Tiempo: ";TIME$
381 '- Impresión en pantalla del tiempo transcurrido

390 IF INKEY$<>"q" THEN GOTO 250
400 CLOSE
410 END
411 '- Si se pulsa la tecla 'q' hay que detener el
registro.
```



```

420 ' PRINT ERR
430 IF ERR=57 AND ERL=220 THEN RESUME 220
435 IF ERR=57 AND ERL=222 THEN RESUME 222
436 RESUME
437 '- Se detectan los posibles errores debidos al retraso
en la apertura de los
438 ' canales de entrada de datos

440 LOCATE 8,60:PRINT "Inicio: ";TINI$
450 LOCATE 8,1:PRINT "+-----+"
451 LOCATE 8,31:PRINT "+-----+"
460 LOCATE 9,1:PRINT "| "
462 LOCATE 9,31:PRINT "| "
470 LOCATE 10,1:PRINT "| "
472 LOCATE 10,31:PRINT "| "
480 LOCATE 11,1:PRINT "| "
482 LOCATE 11,31:PRINT "| "
490 LOCATE 12,1:PRINT "+-----+"
492 LOCATE 12,31:PRINT "+-----+"
500 LOCATE 6,1:PRINT FILE1$
501 LOCATE 6,31:PRINT FILE2$
510 RETURN
511 '- Subrutina de impresión de las ventanas del peso
expresado en caracteres

520 LINE (0,320)-(0,200):LINE-(FX-1,200):LINE-(FX-
1,320):LINE-(0,320)
530 RETURN
531 '- Subrutina para la impresión de la ventana del peso
en forma gráfica

```

E. ACTIVIDADES PRACTICAS Y PELICULAS DE VIDEO

Se realizaron películas de video de actividades prácticas relacionadas con los programas de ordenador. Se acompañan las mismas en formato VHS.

1. REGULACION CARDIOVASCULAR: FACTORES NERVIOSOS Y HUMORALES

Esta filmación recoge todos los detalles de una práctica relacionada con la actividad nerviosa, cuyo núcleo es la regulación de la actividad cardíaca por el sistema parasimpático. Como complemento, se explica el efecto de la estimulación eléctrica directa sobre el músculo esquelético y cardíaco.

Las fases que pueden apreciarse en la película son las siguientes:

- 1- Anestesia.
- 2- Aislamiento de los nervios vagos.
- 3- Traqueotomía.
- 4- Exposición de la cavidad torácica.
- 5- Registro del latido cardíaco.
- 6- Efecto de la acetilcolina.
- 7- Efecto de la atropina.
- 8- Efecto de la estimulación vagal.
- 9- Estimulación eléctrica del músculo, directamente o a través del nervio motor.

Guión de la película

La práctica que vamos a ver es clásica en Fisiología. Su título - corazón de rata in situ- hace referencia al animal utilizado para su realización.

La elección de la rata está basada en la facilidad de manejo y en la proverbial resistencia de este animal. Sin embargo, cualquier otro mamífero podría sustituir a la rata sin que los resultados variasen sustancialmente.

Esta panorámica muestra la disposición de los elementos necesarios. La rata permanece en una jaula, sin ser molestada hasta el momento de la anestesia.

Se requiere un dispositivo para practicar la respiración asistida; una mesa de disección, que consiste en una superficie plana y rígida perfectamente iluminada; y un quimógrafo con todos los elementos necesarios para realizar los registros de los movimientos respiratorios y del latido cardiaco.

La práctica comienza con la anestesia de la rata. La inmovilidad y tranquilidad del animal durante el proceso nos garantiza el éxito y la rapidez de la operación. Por ello, tal como muestra la imagen, se debe sujetar a la rata firme pero suavemente con una mano, mientras que con la otra se inyecta intraperitonealmente el anestésico, empujando lenta pero continuamente el émbolo hasta el final de su recorrido.

Completada la operación, se coloca la rata en el desecador, comprobando la pérdida progresiva de conciencia y sensibilidad.

El anestésico utilizado es uretano, en una dosis de 1,5 gramos por kilogramo de peso corporal.

Cuando la inmovilidad y ausencia de reflejos sea total, tendremos al animal anestesiado y preparado para su traslado a la mesa de disección.

La imagen nos muestra un quimógrafo con su tambor giratorio en la parte superior, y en el frente de la unidad inferior está la unidad de respiración asistida. Situado a la izquierda de la mesa de operaciones, en un plano inferior está la unidad de respiración asistida. Este aparato dispone de un motor, unido por un mecanismo transmisor al elemento donde están las salidas para las conexiones con las vías respiratorias de animal.

Un examen más minucioso nos muestra los elementos más importantes del quimógrafo. Una plumilla que establece contacto con el papel y que está situada en el extremo distal del brazo del quimógrafo, que en su conjunto es el verdadero elemento registrador del aparato. El panel de mandos, situado en el frente de la unidad motriz, permite ajustar la velocidad de giro del tambor.

La imagen muestra otro elemento fundamental de la práctica: un estimulador, que permite aplicar localmente corriente eléctrica con intensidad y frecuencia variables.

Un dispositivo con una pinza en su extremo para poder prenderse del pericardio sirve para conectar el corazón por medio de un hilo con el brazo del quimógrafo.

Vemos ahora la cánula que debe colocarse en la tráquea, conectada al respirador por dos canales independientes, uno para la entrada y otro para la salida del aire.

A la derecha de la mesa de disección se muestra el abundante material quirúrgico necesario, consistente en pinzas u tijeras de diferentes tipos, hilo para suturas y esparadrapo. También se requiere un baño para mantener las soluciones de las sustancias que se aplicarán durante la práctica.

Una vez anestesiado el animal, se coloca en posición decúbito supino y se sujeta con ayuda de esparadrapo en la mesa de disección. Seguidamente se somete a un minucioso y completo rasurado de las áreas donde se procederá a practicar las incisiones para el aislamiento del nervio vago y la canulación traqueal, así como la exposición de la cavidad torácica.

Una incisión en la línea central de la región del cuello descubre la musculatura de esta zona, que debe ser seccionada por planos.

Para exteriorizar la tráquea se requiere la separación del músculo esternohioideo.

Una vez descubierta la tráquea, se procede a la localización de los nervios vagos. El nervio vago se localiza lateralmente en un plano profundo, formando un paquete con la arteria carótida. Una vez aislado, es necesario separarle de la arteria. Es conveniente pasar un hilo sujetando el nervio para facilitar su ulterior captura cuando ello sea necesario.

La operación se repite por el mismo procedimiento en el lado derecho del animal.

La colocación de la cánula en la tráquea se realiza practicando un corte limpio entre dos anillos cartilagosos de la parte superior de la tráquea. Una vez fijada la cánula, por medio de una ligadura, todo está preparado para la conexión con el dispositivo de respiración asistida.

Para descubrir los órganos de la cavidad torácica hay que practicar una incisión transversal, convenientemente amplia, siguiendo una línea imaginaria situada por encima de la posición del borde del diafragma.

En la imagen se pueden distinguir claramente los cambios de volumen de los pulmones durante los movimientos de inspiración y espiración inducidos por la bomba de respiración asistida.

El corazón se puede observar latiendo con un ritmo regular y rápido, en una posición ligeramente desplazada a la izquierda de la línea media del tórax, sobre los pulmones.

Es necesario conectar la cánula traqueal al dispositivo para la respiración asistida, con anterioridad o durante la incisión transversal del tórax. De otro modo, el animal moriría sin remedio.

Para poder registrar el latido cardíaco es necesario prender en el corazón la pinza conectada al brazo del quimógrafo.

Inmediatamente, la plumilla comienza a trazar sobre el papel del tambor una serie de ondas que representan las contracciones del

miocardio, apareciendo estas ondas superpuestas sobre otras más amplias que representan los movimientos respiratorios.

Para obtener un registro que represente únicamente el latido cardiaco, es preciso detener temporalmente la respiración asistida. Obviamente, un registro basal representando exclusivamente la actividad cardiaca no puede prolongarse durante mucho tiempo.

En la imagen aparece ahora un registro basal de estas características, una vez detenida la respiración asistida.

La demostración del efecto de la acetilcolina sobre la actividad cardiaca comienza necesariamente con un registro basal, después de desconectar la respiración asistida. Este registro servirá de referencia. Una vez puesto en marcha de nuevo el respirador, se aplica acetilcolina sobre el corazón por medio de una pipeta.

Cuando se desconecta el respirador, después de aplicar acetilcolina, vemos que los trazos registrados se separan y aumentan de amplitud. Es decir, la acetilcolina enlentece el ritmo cardiaco, y como consecuencia las contracciones, por el efecto Starling, son más intensas.

Como quiera que la respiración asistida no puede prolongarse indefinidamente, transcurrido un tiempo de recuperación es necesario repetir la aplicación de acetilcolina, obteniéndose un nuevo registro de su efecto.

Aquí podemos observar un registro basal de la actividad cardiaca, mostrando el ritmo y la amplitud de las contracciones del corazón de una rata sin respiración asistida antes de aplicar acetilcolina.

En esta otra gráfica y en la siguiente, que corresponden a registros obtenidos después de sendas aplicaciones de acetilcolina, resulta evidente el aumento de amplitud del latido cardiaco, en respuesta a esta sustancia.

Para evidenciar que los cambios en la actividad cardiaca registrados fueron producidos por la acetilcolina aplicada, se aplica ahora atropina (bloqueador de la acetilcolina) directamente sobre el corazón.

Tras un breve registro basal de la actividad cardiaca, para servir de referencia, observamos que la aplicación de atropina anula por completo los efectos de la acetilcolina, y el registro basal obtenido no difiere de cualquier otro registro basal obtenido en condiciones fisiológicas.

Todas las fibras parasimpáticas que llegan al corazón lo hacen en los nervios vagos. La mayor concentración de terminaciones de fibras del parasimpático se encuentra en la vecindad de los nodos sinoauricular y aurículoventricular. Por otra parte, en las terminaciones axónicas de los nervios parasimpáticos del corazón se libera acetilcolina.

La estimulación del nervio vago aplicando una serie de pulsos eléctricos, como se observa en la imagen, produce la descarga de acetilcolina en las terminaciones axónicas. La acetilcolina, que aumenta la permeabilidad al potasio de las fibras del miocardio, ocasiona un enlentecimiento del ritmo del nodo sinoauricular. Del mismo modo, la excitabilidad de las fibras del nodo aurículoventricular disminuye, de tal forma que la contracción ventricular puede llegar a bloquearse.

Estos efectos se pueden observar en la última fase de los registros presentados, que muestran el enlentecimiento del ritmo cardiaco conforme tiene lugar la estimulación eléctrica.

Revisemos algunos conceptos clásicos de la fisiología del músculo, con ayuda de una gráfica.

Una sacudida es una contracción de un músculo en respuesta a un único estímulo. Siempre que el músculo disponga del tiempo suficiente para recuperarse, responderá a un segundo estímulo con otra sacudida de idéntica amplitud y duración. No ocurrirá lo mismo si un segundo estímulo es aplicado al músculo, antes de que la primera contracción finalice. La respuesta del músculo a ese segundo estímulo es más intensa, y la

tensión registrada es mayor que la de una sola sacudida. Este fenómeno se conoce como sumación.

La aplicación de sucesivos estímulos con elevada frecuencia llevará al músculo a alcanzar un estado de contracción máxima, sostenida, que se conoce como tetania. La tensión es entonces la máxima que un músculo puede desarrollar. Si el estado de tetanización del músculo se prolonga suficientemente, aparecerá la fatiga. La tensión del músculo cae entonces bruscamente a cero.

Los efectos descritos en la gráfica anterior pueden observarse si estimulamos la musculatura del abdomen de la rata. Para ello podemos aplicar el estimulador directamente sobre el músculo diafragma, o bien podemos estimular el nervio frénico, cuyos axones terminan en ese músculo. Esta última maniobra es la que muestra ahora la imagen.

Vemos cómo, aplicando el estimulador en el frénico, el diafragma responde a la aplicación de estímulos aislados con contracciones aisladas. Podemos observar que un aumento en la frecuencia de estímulos produce contracciones más intensas, hasta un punto en que se produce la tetanización o contracción máxima sostenida.

Ahora vamos a aplicar los estímulos directamente sobre los músculos de la pared corporal. Observemos que las respuestas del músculo son similares a las que obteníamos cuando estimulábamos el nervio.

A diferencia del músculo esquelético, el músculo cardíaco no se puede tetanizar, ni sus contracciones pueden sumarse. Esta afortunada circunstancia se debe a que las fibras del músculo cardíaco permanecen despolarizadas durante todo el tiempo que dura la contracción, y la meseta que caracteriza su potencial de acción sólo desaparece cuando la contracción también finaliza. Por tanto, el músculo cardíaco sólo puede responder a un estímulo cuando una contracción previa ha finalizado.

Esta característica del miocardio se demuestra en estas imágenes, en que vemos que el músculo cardíaco se contrae con la misma intensidad, cualquiera que sea la frecuencia de estímulos que se le aplique.

2. PAUTAS DE INGESTION

En esta filmación se pretende dar una introducción a la metodología asociada con la determinación del consumo de alimentos en distintos animales y su relación con otros estudios fisiológicos.

La película puede dividirse en los siguientes bloques temáticos:

- 1- Introducción gráfica a la determinación del consumo de alimento.
- 2- Descripción del registro automático de las pautas de ingestión en oveja utilizando células de carga y amplificadores.
- 3- Descripción de los distintos componentes de las jaulas para el estudio metabólico en ratas, así como las balanzas electrónicas empleadas para este caso de registro de la ingestión.
- 4- Determinación del consumo de alimentos sólidos y líquidos, parámetros asociados con las pautas de ingestión y aplicación en el estudio de la evolución del peso corporal en la rata.

Guión de la película

El análisis de las pautas de ingestión es un aspecto fundamental de cualquier estudio relativo a la ingestión de alimento por los animales, ya sean éstos animales de interés ganadero o bien animales de experimentación.

En general hablamos de ingestión de alimento par denotar el peso del alimento ingerido por un animal durante un período determinado de tiempo durante el cual tienen libre acceso al mismo.

La pauta de ingestión es el conjunto de las ingestiones efectuadas por un animal junto con el tiempo al que han sido efectuadas.

El primer problema que debemos resolver es el relativo a la adquisición de los datos, esto es, saber cuánto alimento come un animal y durante qué periodos de tiempo, para así obtener su pauta de ingestión.

La presente filmación presenta una introducción al estudio de las pautas de ingestión, que es fundamental en cuanto a lograr una mejor comprensión de problemas tales como subalimentación, sobrealimentación y obesidad, selección de dietas, etc.

A fin de estudiar los factores que intervienen en el control de la ingestión de alimento, o para desarrollar sistemas de predicción de la ingestión en animales domésticos, debemos ser capaces de medir la ingestión en distintas situaciones. Muchos estudios se han realizado midiendo únicamente la cantidad total de alimento ingerida en 24 horas, restando el peso del comedero al ofrecer el alimento y el peso del comedero al día siguiente.

Sin embargo, de este modo es difícil obtener información relativa a la pauta de ingestión, puesto que los animales comen varias veces al día. Además, con animales en pastoreo o mantenidos en grupos este sistema no es aplicable.

La obtención de la pauta de ingestión por métodos manuales, esto es, pesando los comederos a intervalos regulares y observando el inicio y final de cada acceso de cada animal al comedero, es un proceso claramente inviable.

Se obtiene una información mucho más amplia al registrar continuamente el peso del comedero. Para ello el peso debe ser convertido en una señal medible, por lo común eléctrica, cuya magnitud refleje el grado de desaparición de alimento debido a la ingestión. Los conversores analógico-digitales se encargan de adaptar esta señal eléctrica a fin de que un ordenador pueda efectuar el proceso de medición y almacenamiento de los datos de peso y el análisis ulterior de las pautas de ingestión obtenidas.

Se utilizan también balanzas electrónicas para registrar continuamente el peso del comedero. Este puede situarse sobre la balanza o bien colgado bajo ella, y en todo caso la balanza siempre envía datos al ordenador a través de un cable de datos normalizado que la mayoría de los ordenadores aceptan sin dificultad.

El uso de balancas simplifica la gestión de los datos dado que las balanzas electrónicas suelen presentar la capacidad de discriminar la estabilidad del peso que registran.

En las siguientes imágenes presentamos una introducción al sistema de adquisición de datos que está siendo usado en la Estación Agrícola Experimental del CSIC en León. Uno de los temas de trabajo es el estudio del comportamiento ingestivo de dos razas de ovejas, la oveja merina, clásica española, y la oveja de raza churra, propia de nuestras comarcas.

El alimento que se les ofrece a diario es de dos categorías: Un alimento de baja calidad tal como el heno, convenientemente homogeneizado, para una serie de animales, y un alimento granulado a base de alfalfa, de gran calidad nutritiva, suministrado a otro lote de ovejas.

En esta panorámica se aprecia la serie de doce animales bajo estudio, con un tubo que comunica los cables de datos desde cada comedero hasta la central de amplificación, donde la entrada desde cada sensor corresponde a la fila inferior y la salida ya amplificada se obtiene de la fila superior de contactos.

El ordenador recoge los datos amplificados y los envía a su conversor analógico digital a través del conector que se observa en la imagen.

Aquí observamos el dispositivo sensor que convierte en variación eléctrica la variación del peso del comedero.

En esta jaula se pueden apreciar el bebedero, a la derecha, y el comedero a su lado, en la misma disposición que para el resto de los animales.

Una serie de cables conectados al sensor conducen la señal eléctrica hacia la central de amplificación y suministran a su vez corriente al dispositivo.

Todos los movimientos del comedero, como los debidos a la acción de comer, se traducen en una variación de la tensión de una tira de aluminio.

El verdadero sensor es una lámina plástica, azul en la imagen, cuya resistencia eléctrica cambia con el grado de curvatura.

En esta imagen se observan los amplificadores, uno para cada sensor, con ajustes de cero y de ganancia, que aumentan unas mil veces la débil señal recogida por los sensores.

Tras la puesta en marcha de la unidad de alimentación, el ordenador es asimismo activado y comienza la ejecución del programa que gestiona la adquisición de los datos.

Cada uno de los doce canales tiene una ventana de visualización independiente. Dos veces por segundo el programa lee el valor proporcionado por el sensor, y presenta en cada ventana la media de diez valores consecutivos. La lectura es en cada caso secuencial, desde el primer canal hasta el último. La ventana recoge asimismo la gráfica que va obteniéndose para cada canal.

De esta manera el ordenador recoge automática y continuamente la actividad ingestiva de los doce animales durante 24 horas.

Para el registro de la ingestión en ratas es preciso en primer lugar la utilización de jaulas metabólicas como las que se presentan en estas imágenes. Estas jaulas permiten, además de mantener de forma individual a cada animal, extraer la orina en un recipiente que vemos en la imagen separado de otro similar cuya función es el almacenamiento de las heces.

Este es el túnel de acceso hacia el comedero, y a su lado observamos el bebedero, que es una botella provista de una embocadura para que el animal beba gota a gota.

El comedero se encuentra fijado al plato de una balanza electrónica, y el alimento es pienso para roedores en forma molida.

La balanza presenta un conector en su parte posterior para su conexión al ordenador.

A continuación se recoge la conexión de los cables de alimentación de la balanza y de emisión de los datos hacia el ordenador.

Se coloca en la jaula el túnel de acceso al comedero, asegurándonos de que no entra en contacto directo con el comedero.

Las ratas se mantienen en jaulas de grupo hasta que son transferidas a las jaulas metabólicas.

Tras el encendido de las balanzas, son puestas a cero a fin de registrar la desaparición del alimento contenido en el comedero.

Análogamente al caso anteriormente presentado, el ordenador debe ejecutar un programa de control apropiado que recoja y almacene los datos proporcionados en este caso por las balanzas. Pueden apreciarse dos ventanas de visualización donde aparecen los datos proporcionados por las balanzas, y una ventana inferior donde aparece esta información en formato gráfico.

La rata es un animal extremadamente curioso, y sus hábitos de alimentación son eminentemente nocturnos. Debido a ello, a efectos de la presente filmación, se utilizaron animales sometidos a ayuno para forzar la visualización de la ingestión durante el día.

Obsérvese que el túnel de acceso restringe la movilidad del animal sobre el comedero, para minimizar de este modo el derrame de alimento no ingerido.

El ordenador recoge la información en forma numérica, pero la presenta también en forma gráfica.

Puede observarse cómo el acceso del animal al comedero se refleja en la variación del peso registrado por el visualizador de la balanza. El animal ingiere el alimento en fases discontinuas, cuya duración es asimismo registrada por el ordenador.

Se presenta la estructura de los ficheros de datos correspondientes a la pauta de ingestión en un día determinado en nuestro estudio de ingestión de ovejas, tal como aparece en la pantalla del ordenador.

El fichero puede considerarse una tabla en la que las columnas corresponden, por este orden, a las horas, minutos, segundos, tiempo total en minutos y peso de cada uno de los comederos, del 1 al 12.

Las filas en este fichero corresponden a las medias de los datos registrados, aproximadamente cada 20 segundos, hasta hacer un total de aproximadamente 4500 filas de datos en 24 horas.

En el caso de los ficheros que representan las pautas de ingestión en la rata, su estructura es similar, con columnas que almacenan la información del tiempo al que se ha registrado cada dato, el peso del comedero y finalmente una indicación proveniente de la balanza, relativa a la estabilidad del dato recogido. Los datos estables corresponden a periodos de inactividad del animal, en tanto que los datos inestables significan lecturas transitorias de la balanza mientras el animal efectúa la ingestión. La vuelta a la estabilidad se traduce en un valor más bajo del peso del comedero.

Esta gráfica presenta una pauta de ingestión registrada durante trece horas en rata. El peso del alimento en gramos aparece en el eje vertical, el función del tiempo en minutos.

Las líneas discontinuas representan dos comidas; una de ellas, la primera, con un tamaño aproximado de ocho gramos, y la segunda, B, de cinco, con un período de descanso.

En una pauta de ingestión las comidas se encuentran separadas por intervalos de tiempo, cuya denominación se hace en base a que sean posteriores a una comida (intervalos post-comida) o precedan a la siguiente (intervalos pre-comida).

Podemos realizar una gráfica que presente el número de intervalos entre comidas recogidos por nuestro sistema en función de la duración de estos intervalos. De este modo siempre se obtiene una gráfica bimodal, con gran abundancia de intervalos cortos y escasez de intervalos largos.

El punto de corte de las dos rectas a que pueden ajustarse estas gráficas representa el intervalo mínimo entre comidas. Este valor significa que todo aquel intervalo registrado que sea menor del mínimo es en realidad un descanso incluido en una misma comida, y no separa dos comidas diferentes. Sobre la base de este valor es preciso corregir la duración de las supuestas comidas registradas por el sistema de adquisición de datos.

Para finalizar, observemos un resumen de los principales pasos implícitos en el estudio de la ingestión de alimento.

Para obtener la pauta de ingestión es preciso proceder a la recogida automática de datos, seguida por un registro de la frecuencia de los intervalos entre comidas, que nos proporcionará una estimación del intervalo mínimo en las condiciones de nuestro estudio. La ulterior corrección de los datos obtenidos nos proporcionará lapauta de ingestión, cuyo análisis nos brindará la información requerida del experimento.

Los resultados del análisis de pautas son directamente aplicables a todos los estudios de formulación dietaria y modificación de la ingestión en animales de interés económico. Del mismo modo, los aspectos psicobiológicos de la alimentación humana, el desarrollo de dietas para combatir alteraciones nutricionales o deficiencias como el caso de la diabetes, unido a la gestión de la alimentación en animales domésticos, todo ello significa que este tipo de estudios puede contribuir a un mayor bienestar del ser humano.

F. EVALUACION DE LOS RESULTADOS

Los cuestionarios presentados a los estudiantes pusieron de manifiesto que, tanto en enseñanzas medias como universitarias, el grado de aceptación de las actividades realizadas fue extraordinariamente elevado (prácticamente del 100%). En la mayoría de los casos se indicaba, además, que dicho tipo de actividades debería extenderse a otras disciplinas curriculares al facilitar en gran medida la asimilación de los conocimientos teóricos.

Dado el éxito alcanzado, desde el curso 1991-92 se están desarrollando como parte del programa de actividades prácticas dentro de la docencia de la Fisiología Animal en las Facultades de Biología y Veterinaria de la Universidad de León. La extraordinaria utilidad de estos sistemas se pone claramente de manifiesto por el hecho de que en los exámenes teóricos los alumnos demuestran unos conocimientos bastante más sólidamente sedimentados en las partes de la disciplina que se han acompañado de la docencia práctica mediante estos métodos audiovisuales.

G. BIBLIOGRAFIA

Brown, J. (1979). *Instrucción audiovisual. Tecnología, medios y métodos*. Trillas, México.

Dickinson, C. J. (1977). *A computer model of human respiration*. University Park Press, Baltimore.

Geisow, M. J., Barret, A. N. (1983). *Computing in biological sciences*. Elsevier. Amsterdam.

Hodgkin, A. L., Huxley, A. F. (1952). *A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerves*. J. Physiol. 117, 500-544.

Investigación y Ciencia. (Noviembre 1991). *La revolución informática*. Prensa Científica. Barcelona.

Ireland, C. R., Long, S. P. *Microcomputers in Biology: a practical approach*. IRL Press. Oxford.

Malcolme-Lawes, D. J. (1988). *Microcomputers and laboratory instrumentation*. Plenum Press. Nueva York.

Novak, D. (1982). *Teoría y práctica de la educación*. Alianza. Madrid.

Pujol, J., Fonts, J. L. (1981). *Los métodos en la enseñanza universitaria*. Eunsa, Pamplona.

Randall, J. E. (1980). *Microcomputers and physiological simulation*. Addison-Wesley Publishing Company, Reading.