

Algunos ejemplos de aplicación del método gráfico en la Fisiología (*)

Por A. LIPSCHÜTZ

Prof. de Fisiología y Director del Instituto
Fisiológico de la Universidad
de Concepción

Me parecía útil ilustrar a Uds. con unos ejemplos de la vida práctica de la investigación científica, la gran importancia del método gráfico. Observando como en la investigación misma se sirve del método gráfico Uds. comprenderán mejor su valor.

El primer ejemplo se refiere a la Fisiología general de la estimulación. La planta reacciona a la luz; la planta se inclina frente a la luz. Es el heliotropismo bien conocido por Uds. La cuestión es poner la relación que existe entre la *intensidad* de la luz que estimula, y la *duración* de la estimulación que produce una reacción visible de parte de la planta. La cuestión fué estudiada simultáneamente pero de una manera independiente, casi 20 años atrás por el investigador austriaco *Fröschel* y investigador holandés *Blaauw*. *Fröschel* hizo sus experimentos con gérmenes de *Lepidium sativum* rectas. Si los gérmenes se exponen a una iluminación unilateral por un cierto tiempo, se produce la inclinación heliotrópica. Siendo la luz de una intensidad de más o menos 0,85 bugías (la unidad de la luz) se necesitaban 7 a 8 minutos para producir una inclinación. A una intensidad de 3,3 bugías se necesitaban solamente $1\frac{1}{2}$ a 2 minutos, y a una intensidad de 13,2 bugías se necesitaban solamente $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ de minuto. El experimento indica claramente que cuanto mayor sea la intensidad de la luz tanto menor es la duración de la estimulación que se necesita para producir una inclinación visible. *Blaauw* ha trabajado con gérmenes de avena, con intensidades de luz que varían entre 0,00017 y 26.000 bugías. En el primer caso se necesitaba una estimulación de 43 horas, en el último caso de $\frac{1}{100}$ segundo, para producir una reacción visible de la parte del germen. Esto es, para producir en un milésimo de un segundo el mismo efecto que en 43 horas, se necesita una intensidad de luz más o menos 140 millones mayor. *Fröschel* ha extendido estos experimentos y ha demostrado que con la luz solar o con la luz de una lámpara de mercurio y cuarzo puede causarse una inclinación del germen aun si la iluminación dura solamente $\frac{1}{2000}$ de segundo. Tal vez Uds. encontrarán a primera vista que se trata de una enormidad de cifras que desorientan. Pero vamos hacer un gráfico de los hallazgos de *Fröschel*. En la abscisa tenemos la intensidad de la luz que estimula; las or-

(*) Trabajo presentado a la Sociedad de Biología de Concepción en la sesión del 20 de Octubre de 1927.

denadas son los diferentes tiempos de exposición. El tiempo de exposición que se necesita para producir una reacción visible del gérmen, se representa como una función de la intensidad de la luz estimulante. Unimos los diferentes puntos que corresponden a los experimentos. Obtenemos una curva que se llama *hipérbola*. (Fig. 1)

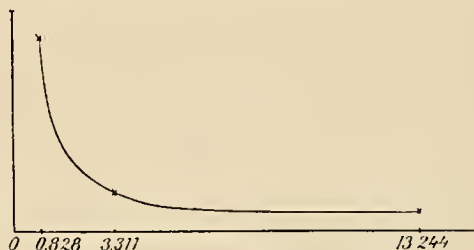


Fig. 1.—Ley de la hipérbola de las reacciones heliotrópicas. En la abscisa —intensidades de luz en bugías; las ordenadas— los tiempos de exposición correspondientes.—Según *Fröschel*.

La ecuación de esta hipérbola es $x \cdot y = \text{Const.}$, o el producto de las coordenadas de cada punto de esta curva es igual al producto de las coordenadas de un otro punto cualquiera de la curva. Calculando el producto de los datos de *Fröschel* vemos que el producto es más o menos igual; en cuanto se trata de desviaciones ellas

Intensidad Bugías	Tiempo de exposición mínima	Producto
0,83	7-8	5,8-6,6
3,3	$1\frac{1}{2}$ -2	4,9-6,6
12,2	$\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$	6,6-9,9

se explican por los errores inevitables en la experimentación biológica. Tomemos el producto en los experimentos de *Blaauw*; aquí también el producto es igual aunque se trata de diferencias de intensidad realmente enormes. Debemos suponer que el producto

Intensidad Bugías	Tiempo de exposición mínima	Producto
0,00017	43 hr.	26,3
26,520	1/1000 sg.	26,5

de la intensidad y del tiempo de estimulación por la luz será igual para todos los puntos de la hipérbola.

Blaauw lo ha verificado experimentalmente para 26 puntos. Ahora bien, la ley de la hipérbola vale para las reacciones heliotrópicas de las plantas. Se pregunta si la ley de la hipérbola vale solamen-

te para las reacciones heliotrópicas o si es una ley general. En un trabajo de conjunto *Fröschel* ha llamado la atención al hecho que a esta ley corresponden los hallazgos de *Charpentier* sobre la reacción del ojo humano a estimulaciones de distintas intensidades. *Von Kries* y otros lo han confirmado variando la intensidad del estímulo unas diez veces. Y aún más, se ha demostrado por diferentes investigadores el hecho que si se estimula el ojo por luces de diferentes intensidades, durante un tiempo fijo, el producto de la intensidad y de la superficie alumbrante es también constante. Se ha demostrado también la validez de la ley de la hipérbola para las reacciones geotrópicas de la planta. Y podemos decir que la hipérbola con la ecuación $x.y=Const.$ revela a nosotros una ley probablemente general de las reacciones fisiológicas. En una fórmula sencilla, en un gráfico que se retiene fácilmente se expresa una enormidad de hechos, los más variables. Qué escala en las intensidades de la luz, que siempre siguen a la ley sencilla de la hipérbola.

Discutamos otro ejemplo que es de mi observación personal. Se conoce el hecho que después de la castración unilateral,

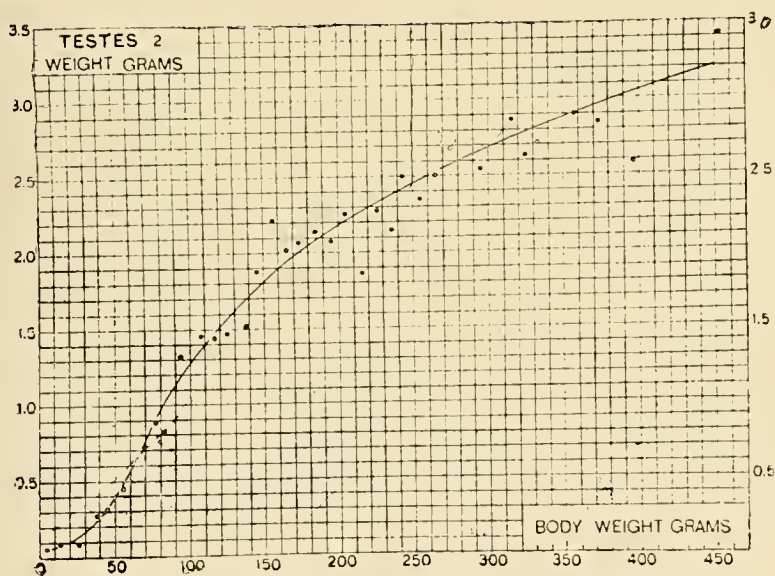


Fig. 2.—Crecimiento de los testículos del ratón blanco; 12 animales;—Según *Donaldson*.

eso es, después de hacerse la ablación de un testículo, el que queda llega a un peso mayor que un testículo normal. Se produce

una hipertrofia compensadora, o en otras palabras, un aumento de la masa testicular que compensa la perdida. Hace unos años repetí estos experimentos en conejos y como se esperaba, constaté unos meses después de la operación, un peso doble del testículo restante; había hipertrofia compensadora. Uno de mis animales con castración unilateral lo examiné solamente un año después de la operación. En estos animales el peso del testículo restante era

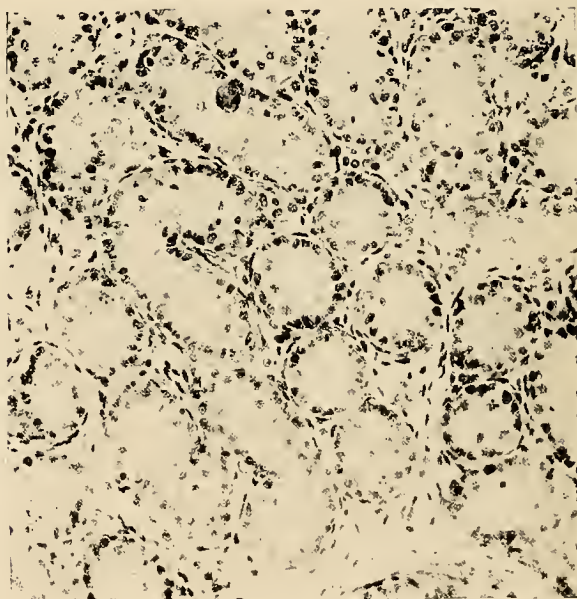


Fig. 5.—Sección a través del testículo del conejo de dos meses de edad. Tubos seminíferos con un solo estrato de células. Las células del tejido intersticial revelan un núcleo pequeño; en muchos sitios predominan células con núcleo uniforme. Aumento 280.

mucho menos pronunciado que unos meses solamente después de la operación. Me pregunté como explicarse que la diferencia entre el peso del testículo restante y del testículo normal llega a ser menor, cuando se examina la situación un largo tiempo después de la operación. Me dije que se trataba posiblemente de otras relaciones que se pensaba hasta aquí; que no se trata de una hipertrofia compensadora, pero de un crecimiento acelerado en el sentido que el testículo restante después de la castración unilateral llega más ligero al peso normal de un testículo. Si se trata de un crecimiento acelerado, es claro que en los primeros meses después de la operación el testículo restante tendrá un peso mayor que el testículo normal o un peso *más adelantado* que conviene a la edad; pero con el avance del tiempo el testículo restante poco a poco se acercará al peso normal.

Vamos a exponer esta cuestión por el método gráfico. En el cuadro (Fig. 2) Uds. ven los diferentes datos que se refieren al peso de ratones de diferentes edades o pesos. El peso testicular expresado aquí como función de la edad o del peso del animal, y la curva que pasa por las alturas de las ordenadas (o los puntos que a ellas corresponden) es la curva del crecimiento del testículo normal. La curva nos indica que al principio el testículo rápidamente aumenta su peso; se produce en este tiempo la espermatogénesis que aumenta enormemente el volumen del órgano (Fig. 3 y 4). Después el crecimiento es mucho más lento acercándose el testículo poco a poco al peso final. No tenía todavía al comienzo de mis observaciones la curva de crecimiento del testículo del conejo; pero me dije que

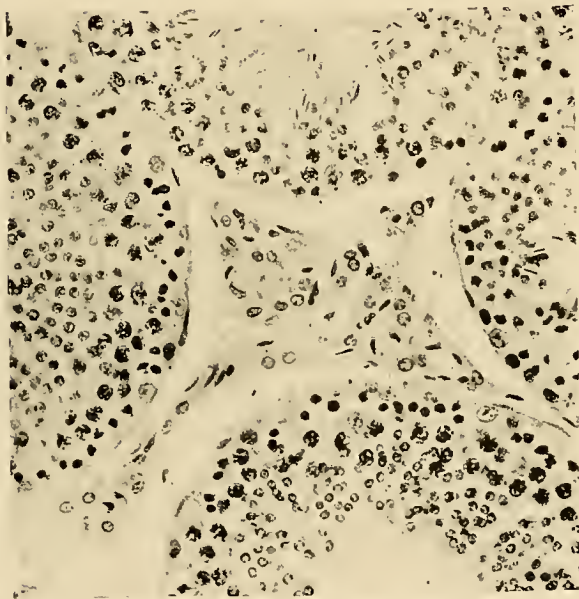


Fig. 4.—Sección a través del testículo del conejo adulto, de catorce meses. Tubos seminíferos en espermatogénesis. Las células del tejido intersticial con gran núcleo esférico. Aumento 280.

según todas las probabilidades la curva del crecimiento del testículo en el conejo y en el cuy serán iguales a la del ratón. Si esto fuera el caso y si fuera justa la suposición anteriormente enunciada que el testículo restante revela, no una hipertrofia compensadora, sino solamente un crecimiento acelerado, la situación gráficamente se expresaría de la manera siguiente (Fig. 5). La curva de crecimiento de un testículo normal que Uds. ven en el sistema de coordenadas, como una línea gruesa, debería desplazarse a la izquierda. O, en otras palabras, deberíamos tener la misma curva,

pero alzando de un punto anterior de la parte horizontal. He copiado la curva gruesa del testículo normal con papel transparente para copiar o desplazar la misma curva a la izquierda; es la curva que Uds. ven en el cuadro como línea delgada. Y aquí se revelan todas las consecuencias de la suposición de que los cambios en el

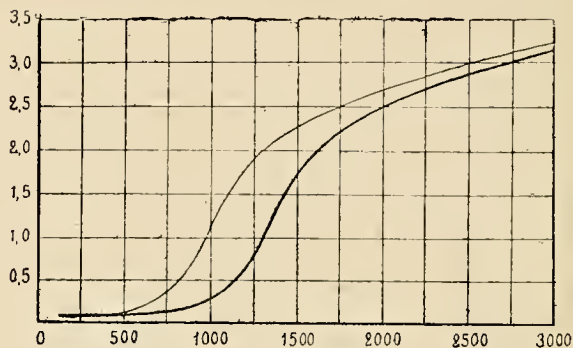


Fig. 5.—Diagrama para ilustrar la hipótesis de que la llamada hipertrofia compensadora del testículo después de la castración unilateral es solamente un crecimiento acelerado. En la abscisa —peso del animal en gramos; ordenadas —peso del testículo en grs.— La línea gruesa indica el crecimiento del testículo normal en el conejo, la línea delgada el del testículo del animal unilateralmente castrado. La línea delgada es la curva normal desplazada a la izquierda por intermedio de papel a copiar. La diferencia entre el testículo normal y el testículo restante aumenta en el período de la espermatogenesis y disminuye después.

testículo restante no son otra cosa que un crecimiento acelerado. Si por ejemplo a un peso del animal de 1 kg. un testículo normal pesa más o menos 0,3 gr., el testículo restante a la misma edad debería pesar ya más de 1 gramo. A un peso del conejo de $1\frac{1}{2}$ kg. el testículo normal pesa 1,7 grs. y el testículo restante debería pesar 2,2 grs. En el primer caso una diferencia de más o menos 300%, en el segundo caso hay una diferencia de solo 35% y con el tiempo, la diferencia entre el testículo restante y el normal debería disminuir.

En las dos curvas que tenemos frente a nosotros hay dos suposiciones; la una que el crecimiento del testículo normal en el conejo corresponde a la curva del ratón; la otra que el testículo restante sufre una aceleración del crecimiento. Es al experimento, a la balanza, de decidir si estas dos suposiciones son justificadas o no. Hemos comenzado a pesar testículos de conejos y cuyes normales y testículos de animales unilateralmente castrados. En el cuadro que se refiere al conejo (Fig. 6), Uds. ven con toda claridad que la curva normal del crecimiento testicular en el conejo corresponde a la del ratón. Hay variaciones en animales normales del mismo peso o de la misma edad y la curva es naturalmente una curva media. Cómo es con los testículos restantes en la castración

unilateral? Si se examina un testículo restante en el animal joven de edad de más o menos 3 meses no hay diferencia con el normal; se explica esto por no haber todavía comenzado la espermatogénesis. Pero si examinamos el testículo a una edad de más o menos 5 a 6 meses se revela una diferencia muy pronunciada. Los puntos respectivos se encuentran a una distancia bastante grande de la curva media y aun de los pesos maximales de la edad respectiva.

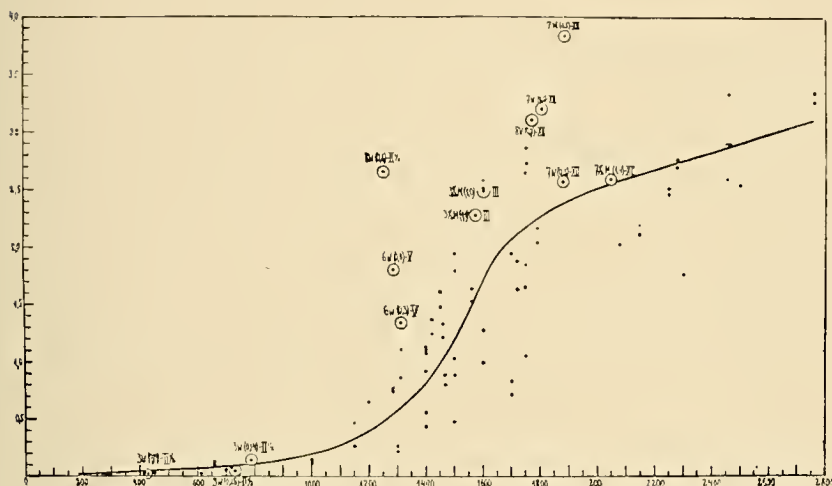


Fig. 6.—Peso del testículo del conejo normal y del conejo unilateralmente castrado. En la abscisa—peso del animal en gramos; ordenada—peso del testículo en gramos. Un punto indica un testículo normal (51 animales); un círculo indica un testículo restante. La primera cifra cerca del círculo indica la edad del animal en el momento de la castración unilateral (en semanas, W o meses M); en paréntesis el peso en kilógr.; la cifra romana indica cuanto tiempo el testículo restante se quedó en el animal. La curva del crecimiento del testículo normal en el conejo es igual a la del ratón en la Fig. 2. En animales jóvenes, mas o menos dos meses después de la castración unilateral, no hay diferencia entre el testículo normal y el restante. Después la diferencia es muy grande pero finalmente la diferencia disminuye de nuevo.

A una edad de más o menos 14 meses, los pesos de los testículos restantes están más cerca de la curva media o de los pesos maximales. En un solo caso el testículo restante pesaba a la edad de 14 meses considerablemente más que testículos normales.

En el cuadro siguiente (Fig 7) tenemos los resultados experimentales con el cuy. La curva del crecimiento testicular normal corresponde a la del ratón y del conejo. Los pesos de los testículos restantes después de la castración unilateral corresponden más o menos a los pesos medios o se encuentran cerca de los pesos normales maximales. En vista de las variaciones fisiológicas podemos decir que el experimento con la balanza en la mano confirma la supo-

sición expresada en el gráfico hipotético. El experimento *verificó* la curva teórica.

La verificación no es completa, debemos renocerlo. Como en los conejos, tanto en los cuyes había un testículo restante que tenía un peso mayor que el normal maximal. Me permití no tomar en cuenta esta incorrección de la verificación en vista de las grandes variaciones del peso testicular que hay en animales. Pero no sería excluso que yo me permití demasiado; tal vez esta excepción que no tomé en cuenta, indica la posibilidad de una verdadera hipertrofia compensadora; sería necesario examinar testículos restantes al fin del segundo año después de la castración unilateral.

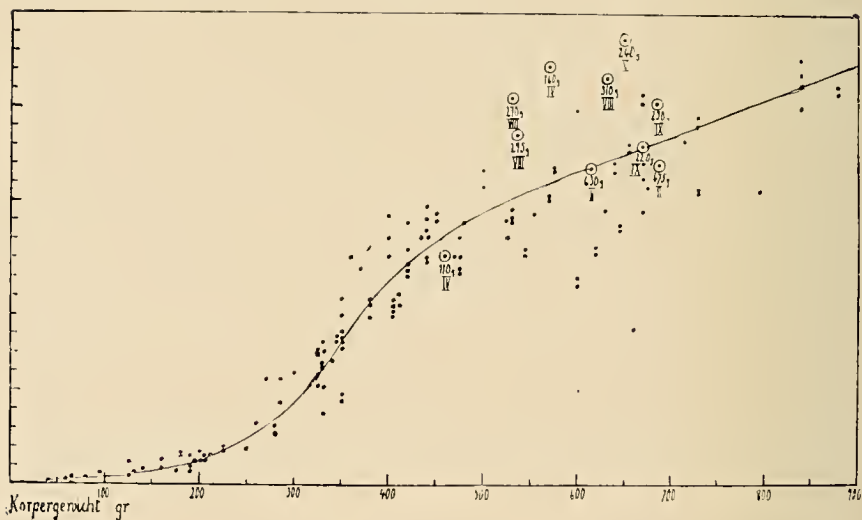


Fig. 7.—Peso del testículo normal y del testículo restante en cuyes. La cifra indica el peso del animal en el momento de la castración unilateral; la cifra romana indica la duración del experimento. Se constata que aun en experimento de una larga duración el peso del testículo restante no sobrepasa el peso maximal del testículo normal.

○ para expresarlo gráficamente, la parte alta en el gráfico teórico no encontró todavía plena verificación; se necesitan más elementos o más puntos para la construcción de esta parte de la curva. Y si, como tenemos la intención, vamos a comenzar con mis jóvenes colaboradores en Concepción nuevos experimentos sobre esta cuestión, se hará esto en la forma siguiente. Yo diré a mis colaboradores de hacerme el favor de estudiar experimentalmente la parte alta indicada de la curva teórica y estoy seguro que ellos me comprenderán bien sin muchas otras palabras, diciendo la curva teórica más y de una manera más exacta que lo que podrían decir muchas explicaciones verbales.