

# LA ESTRUCTURA DEL ÁTOMO

POR EL

**Dr. Alberto Stucchi**

Profesor de Física Biológica

(Conclusión)

## 12. DISTRIBUCION DE LOS ELECTRONES PLANETARIOS

Ya tuvimos ocasión anteriormente, de hacer notar que el número de orden del elemento, es igual al número de electrones periféricos de sus átomos. Bohr, en su primera teoría, aceptaba que, al aumentar en 1 el  $n^\circ$  de orden, por adición de un electrón planetario, este se colocaba en el "anillo" electrónico más externo del mismo, si él no se hallaba completo; y caso de estarlo, constituíase un nuevo anillo electrónico, con el electrón agregado.

Modernamente la idea de los anillos electrónicos ha sido sustituida por la de "pisos electrónicos"; hecho que se impuso en la física del átomo desde que Sommerfeld demostrara que por cada una de las órbitas circulares de Bohr, podían existir  $(n' - 1)$  órbitas elípticas posibles, como vimos en el párrafo anterior.

Los cálculos relativos a los distintos diámetros de las órbitas de Sommerfeld, han demostrado que los pisos electrónicos no están en realidad encajados por así decirlo, completamente los unos en los otros, sino que forman en el átomo, un todo sumamente complicado, al compenetrarse parcialmente los territorios de los unos con el espacio ocupado por los pisos más o menos vecinos, como hemos esquematizado en los modelos atómicos que luego estudiaremos. Como es sabido, los pisos electrónicos de los átomos se desig-

nan yendo desde el núcleo a la periferia con las letras K, L, M, N, O, P, etc. y cada uno de ellos, análogamente a lo que ocurriría con los "anillos" de Bohr, no podría contener sino un número determinado de electrones. Así, el piso K solo puede contener como máximo dos electrones, el L 8, el M se saturaría con 18 electrones. El número máximo de electrones que puede contener un piso dado, puede calcularse mediante la fórmula  $2n^2$ , en la cual  $n = 1$  para el piso K, siendo su valor 2 para el L, 3 para el M y así sucesivamente.

Dejando de lado las consideraciones teóricas deducidas de la experiencia, diremos que Bohr y otros investigadores llegaron a la conclusión, a favor de ellas, de que cada período del sistema de Mendelejeff esta caracterizado por poseer los átomos de los elementos que lo integran, determinados pisos electrónicos. Así, comienza un nuevo período, con la aparición de un electrón en un nuevo piso, como acontece en los metales alcalinos por ejemplo.

Todas las órbitas de un piso dado, están caracterizadas por el mismo número cuántico principal; y a su vez dentro de un mismo piso, las distintas órbitas se clasifican en subgrupos, caracterizados por los números cuánticos  $k$ . Según se desprende de lo que antecede, en cada subgrupo existirían varias órbitas, a propósito de esto, recordaremos que algunos investigadores aceptan que no es posible que en una órbita dada, pueda existir con movimiento estable más de un electrón. Resumiendo, el número de subgrupos existentes en un piso dado, es igual al número cuántico principal del mismo. A su vez, si se admite que cada electrón gira en su órbita individual, tendremos que, en cada subgrupo el número de órbitas que lo constituyen es igual al número de electrones que existan en él. Naturalmente, se ha prescindido de esto último en los modelos atómicos que veremos más adelante. Además, según se desprende de lo dicho, todas las órbitas de un mismo subgrupo estarían caracterizadas por el mismo símbolo  $n'_k$  siendo por lo tanto "equicuánticas".

En la tabla siguiente, damos los nombres de algunos pisos electrónicos, con los números cuánticos principales correspondientes y los subgrupos de que consta cada uno de ellos.

Pisos	K.	L.	M.	N.	O.
Nº cuántico principal y Nº. de subgrupos.	1.	2.	3.	4.	5.
Denominación de los subgrupos.	1 <sub>1</sub>	2 <sub>1</sub> 2 <sub>2</sub>	3 <sub>1</sub> 3 <sub>2</sub> 3 <sub>3</sub>	4 <sub>1</sub> 4 <sub>2</sub> 4 <sub>3</sub> 4 <sub>4</sub>	5 <sub>1</sub> 5 <sub>2</sub> 5 <sub>3</sub> 5 <sub>4</sub> 5 <sub>5</sub>

El hecho de que los elementos que forman los distintos "grupos" del sistema de Mendelejeff, tengan pisos exteriores o periféricos de constitución semejante, ha llevado a los investigadores a la conclusión de que las propiedades químicas de los mismos y en particular la valencia, dependen de la arquitectura de los pisos mencionados.

Así, en los elementos monovalentes del 1er. grupo, existe un solo electrón periférico. En el grupo de los metales alcalinotérreos, son dos los electrones más periféricos de los átomos correspondientes. En el grupo VIII de la clasificación de Mendelejeff, los átomos de los gases nobles He., Ne., Ar., Kr., y Xe, presentan en sus dos órbitas más periféricas en conjunto ocho electrones y en ello residiría la inercia química que caracteriza a estos elementos.

Las propiedades de los elementos que varían periódicamente, son precisamente, aquellas que dependen de los electrones periféricos.

En cambio, las propiedades que varían en modo progresivo aperiódicamente y en una misma dirección desde el H hasta el U., tienen su origen al parecer en los pisos interiores del átomo, e incluso, como más adelante veremos al estudiar el peso atómico, en el mismo núcleo.

Más abajo, resumimos en un cuadro, la distribución de los electrones planetarios de los dos elementos del primer período y de algunos otros elementos pertenecientes a los períodos 2º, 3º, y 4º. Hemos creído útil reproducir al lado de la notación antigua de los subgrupos, la notación moderna; así los subgrupos 4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>, 4<sub>3</sub> y 4<sub>4</sub> del piso N, se designan corrientemente en los libros más

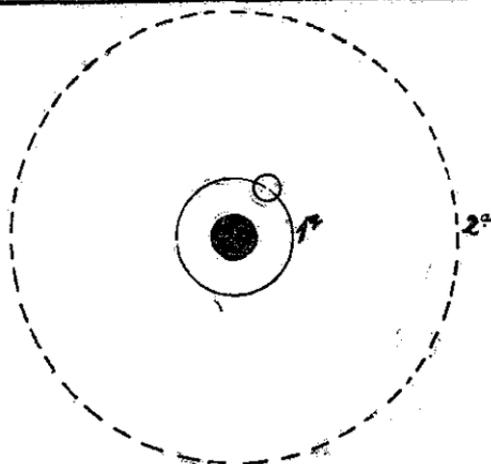
recientes, con los símbolos 4s, 4p, 4d, 4e, respectivamente. Además, debemos advertir que los cuadros de distribución de los electrones planetarios, difundidos en los distintos tratados de Física, no son siempre iguales entre sí; figurándose entre paréntesis aquellas disposiciones sobre las cuales aún se abrigan dudas.

Pisos			K.	L.	M.	N.						
Subgrupos:	Denominaciones antiguas:		1 <sub>1</sub>	2 <sub>1</sub>	2 <sub>2</sub>	3 <sub>1</sub>	3 <sub>2</sub>	3 <sub>3</sub>	4 <sub>1</sub>	4 <sub>2</sub>	4 <sub>3</sub>	4 <sub>4</sub>
		Modernas denominaciones:	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4e
1er. Período.	Nº. de orden											
	Elementos											
			H.									
			He.									
2o. Período.												
			Li.									
			Be.									
			Ne.		6							
3er. Período.												
			Na.									
			Mg.									
			Al.						1			
			Ar.						6			
4o Período.												
			K.							1		
			Ca.							2		
			Cu.							10	1	
			Zn.							10	2	
			Kr.							10	2	6
			Sc.							1	(2)	?

No podemos detenernos en estos apuntes elementales, sobre las consideraciones teóricas y experiencias, que permitieron a los distintos investigadores, llegar al conocimiento tan meticulado, de la distribución de los electrones planetarios del átomo. Sólo recordaremos que tales conocimientos han sido derivados del estudio de los espectros de los elementos, no solamente de los espectros visibles, sino también del ultravioleta y de los espectros de los rayos X característicos. Además, aportaciones de mayor

o menor valor, dieron también en tal sentido, el principio de correspondencia, los fenómenos de radioactividad y el estudio de los potenciales de ionización. Finalmente, ahora que conocemos algo acerca de la arquitectura de los pisos electrónicos, haremos un ligero estudio, de algunos átomos en particular, comenzando por el átomo de H, elemento que, al lado del He, constituye como sabemos el primer período de la clasificación de Mendelejeff.

## HIDROGENO.



*Fig. 13*

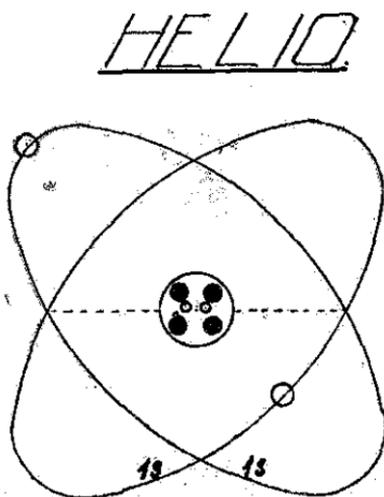
Para el átomo de hidrógeno, el número cuántico principal  $n'$  es 1; y como existe un solo electrón periférico, habrá una única órbita. Esta órbita debe ser circular, pues para ella se cumple la igualdad del número cuántico principal con el número cuántico azimutal, conforme se desprende de la notación de la misma, que como sabemos es  $1_1$ .

El radio de la primera órbita estacionaria del átomo de hidrógeno, es, como vimos en la (30):  $a_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2}$ , dímos ya,

a propósito del segundo postulado de Bohr, el valor de  $a_0$  en cms.; así como también la velocidad del electrón en aquella órbita. El radio de la 2ª. órbita estacionaria, puede calcularse a partir de la ecuación (28); haciendo en esta última  $n = 2$ , tendremos:

$$a_2 = \frac{h^2}{\pi^2 m e^2}; \quad (63)$$

Comparando esta última ecuación con la (30), se podrá observar que el diámetro de la 2ª. órbita estacionaria del átomo de



*Fig. 14.*

H, es 4 veces mayor que el diámetro de la 1ª.; relación que hemos tratado de esquematizar en la Fig. (13). Si en la (26), damos a  $n$  el valor 2, obtendremos la velocidad del electrón en la 2ª. órbita estacionaria del átomo de hidrógeno. Haciendo cálculos análogos podrían calcularse los radios de las órbitas posibles 3ª., 4ª., 5ª., etc.; y las velocidades correspondientes del electrón planetario.

Dijimos anteriormente que, el primer piso electrónico, podía contener como máximo dos electrones; esta "saturación" del pi-

so K, tiene lugar en el átomo de He neutro. También hicimos alusión a la hipótesis que pretende que, en una órbita estacionaria cualquiera, no puede permanecer, con movimiento estable, más de un electrón. Teniendo en cuenta esto último, hemos representado el átomo de He. como poseyendo 2 órbitas estacionarias  $1_1$ , en cada una de las cuales giraría un único electrón. Las mismas consideraciones que hicimos al estudiar el átomo de H; nos permitirían demostrar que ambas órbitas son iguales entre sí y circulares. Si en el dibujo parecen elípticas, ello se debe a que hemos querido figurar que se encuentran en planos distintos poseyendo por centro común, el centro del núcleo. Como no hemos hablado de las condiciones que deben reunir los ángulos diedros que forman los planos de las distintas órbitas, como tampoco del origen de la hipótesis de las órbitas no coplanarias; no damos la medida del ángulo diedro que forman los planos de las dos órbitas  $1_1$  del átomo de He. Las órbitas del mismo N°. de orden de los átomos de H. y de He, difieren entre sí por la longitud de sus radios. El radio de la primera órbita estacionaria del átomo de He, viene

dado, como se desprende de la (28), por la expresión: 
$$\frac{1}{2} \frac{h^2}{4\pi^2 me^2}$$

siendo por lo tanto igual a  $\frac{1}{2}$  del radio de la 1ª. órbita posible del

átomo de hidrógeno. Las velocidades de los electrones planetarios del átomo de He, pueden deducirse de la (26). En la primera órbita estacionaria, los electrones del átomo de He están animados de una velocidad tangencial dos veces mayor, que aquella que posee el electrón del átomo de H en la órbita posible de igual número de orden.

En el Litio, primer elemento del 2º. período, iníciase la formación del piso electrónico L. Conforme hemos representado en la Fig. 15, existe en el caso de este elemento, en el mencionado piso, un único electrón que tiene por órbita la elipse  $2_1$ . Hemos simulado con trazo de puntos la órbita  $2_2$ , no ocupada por ningún electrón y naturalmente, circular. El radio de esta última órbita vie-

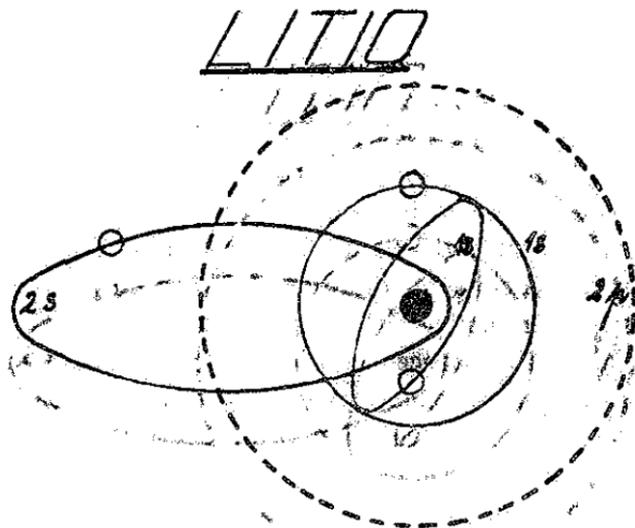


Fig. 16.

ne dado por la igualdad (28) de la teoría de Bohr, y es para el átomo de Li :

$$a' = \frac{2^2}{3} \cdot \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2} = \frac{4}{3} a_0, \quad (64)$$

siendo  $a_0$  como sabemos el radio de la primera órbita estacionaria del átomo de H. Se observará que el valor encontrado en esta última igualdad es exactamente igual al que encontraríamos para el semieje mayor de la órbita  $2_1$ , si lo calculáramos a partir de la (54'), del párrafo que hemos dedicado a la teoría de Sommerfeld.

Podemos calcular el semieje menor  $b'$ , de esa misma órbita del átomo de Li, a partir de la (56') resultando ser:

$$b' = \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2} \cdot \frac{2}{3} = \frac{2}{3} a_0 \quad (65)$$

Finalmente, la excentricidad  $\epsilon'$  de la órbita  $2_1$  será según la (53').

$$\varepsilon' = \sqrt{1 - \frac{k^2}{n'^2}} \quad \varepsilon' = \sqrt{1 - \frac{1}{4}} = \frac{1}{2} \quad \sqrt{3} \quad (66)$$

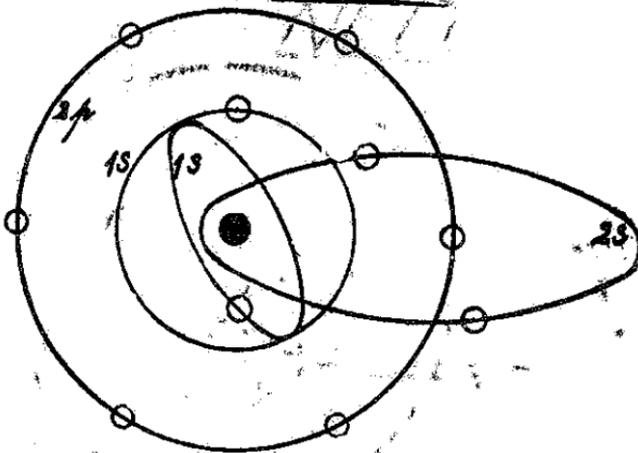


Fig. 16.

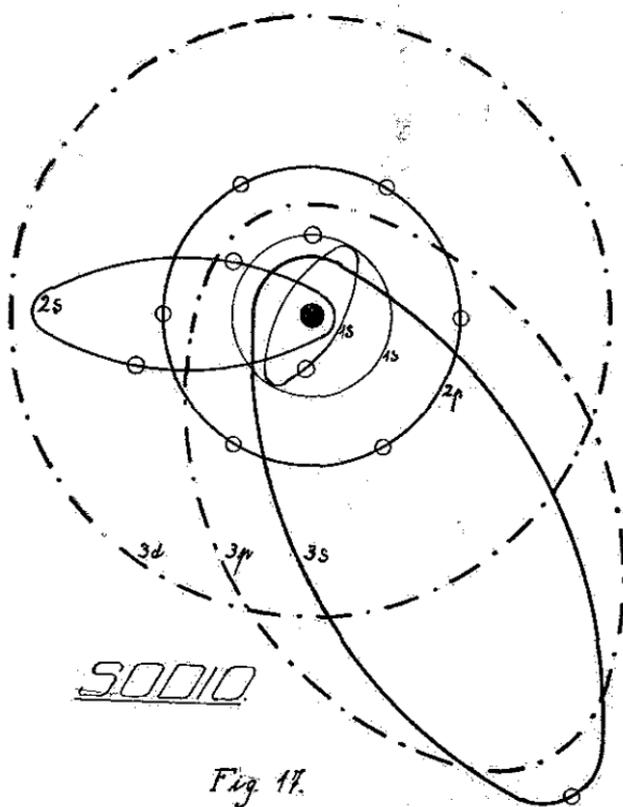
En forma análoga a la que hemos seguido para el átomo de Li., podrían calcularse los distintos diámetros de las órbitas estacionarias del átomo de Neo, y de todos los elementos del 2º. período. Para ello bastará recordar sus números de orden correspondientes y tener siempre en cuenta que en estos elementos como en el Li., existen tan sólo dos pisos electrónicos, los pisos K y L, que en las figuras 15 y 16 se han dibujado con trazos de distinto grosor.

En el átomo de Neo, los dos pisos electrónicos mencionados están completamente saturados, y en ello reside precisamente, conforme ya dijimos en otro lugar, su gran inercia química.

En las figuras (17) y (18) hemos representado el 1º. y último elementos, respectivamente, del 3er. período de la clasificación de Mendelejeff. En estas figuras como en las anteriores, las órbitas posibles no ocupadas por electrones se han figurado mediante líneas de trazos.

No insistiremos aquí sobre los cálculos de las órbitas estacionarias de los pisos K y L, que son enteramente análogos a los que hicimos al estudiar los elementos del 1er. período y algunos del 2°.

Nos ocuparemos, en cambio, de aquellas órbitas que hacen su aparición en los átomos del 3er. período, y que son como ya sabemos las del piso M. Como ya se habrá advertido, en la descrip-



ción de los pisos K y L, hemos prescindido de las órbitas individuales, para mayor simplicidad; en lo sucesivo conservaremos esta conducta con el mismo objeto, y así: en lugar de decir para el átomo de Na. “los semiejes mayores de las órbitas  $2_1$ ”, diremos simplemente: “el semieje mayor de la órbita  $2_1$  del átomo de Na.”

En el piso M, tenemos una órbita circular, la  $3_s$  y dos órbitas elípticas, las que se designan por los símbolos  $3_1$  y  $3_2$ .

El radio de la  $3s$ , para el átomo de Na, es, según se desprende de la (28), (Ver 2º. postulado de Bohr):

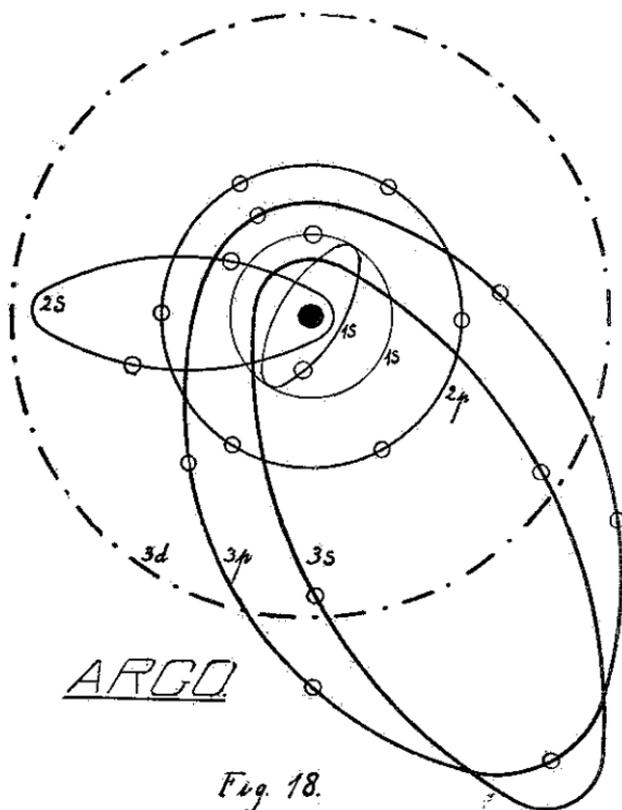


Fig. 18.

$$a'' = \frac{3^2}{11} \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2} = \frac{9}{11} a_0 \quad (67)$$

valor que es idéntico, al del semieje mayor de todas las órbitas elípticas del piso M del átomo de Na, conforme puede comprobarse comparándolo con el valor obtenido para dicho semieje a partir de la (54').

Solamente nos faltaría calcular los semiejes menores  $b_1''$  y  $b_2''$ , de las dos órbitas elípticas. Fácil será hacerlo, recurriendo

a la ecuación (56') de la teoría de Sommerfeld. Obtendremos así, para dichos semiejes del átomo de Na:

$$b_1'' = \frac{3}{11} a_0 \quad (\text{semieje menor de la elipse } 3_1) \quad (68)$$

$$\text{y } b_2'' = \frac{6}{11} a_0 \quad (\text{semieje menor de la elipse } 3_2) \quad (69)$$

La excentricidad de la elipse  $3_1$  será, a partir de la (53'):

$$\varepsilon_1'' = \frac{1}{3} \sqrt{8} \quad (70)$$

y para la elipse  $3_2$ :

$$\varepsilon_2'' = \frac{1}{3} \sqrt{5} \quad (71)$$

Es de notar que estos valores de la excentricidad concuerdan perfectamente con los que obtendríamos a partir de la (55) que vimos al ocuparnos de las modificaciones de Sommerfeld.

El cálculo de las órbitas del piso M, en el átomo de Argo, representado en la Fig. (18) puede realizarse en forma análoga a la que hemos seguido para determinar las órbitas del mismo piso del átomo de Na. Si se realizan estos cálculos podrá verse que no existe proporcionalidad de tamaño en los dibujos correspondientes, no sólo en lo que al átomo en su totalidad se refiere, sino también en lo que respecta a los diámetros de las distintas órbitas posibles.

En el átomo de Argo no existe ningún electrón en la órbita  $3_3$ , en cambio, las restantes órbitas están completamente saturadas.

Finalmente, dos palabras sobre las órbitas posibles del piso N, que aparece en el átomo del K, primer elemento del 4° período de la clasificación de Mendelejeff.

El piso N contiene, como sabemos, cuatro órbitas estacionarias, (hacemos siempre abstracción de las órbitas individuales),

de las cuáles la  $4_4$  es una circunferencia cuyo radio según se desprende de la (28), es para el átomo de K.

$$a''' = \frac{16}{19} a_0, \quad (72)$$

valor que es idéntico al que obtendríamos para los semiejes mayores de las tres restantes órbitas del piso N del átomo de K; si calculáramos esos semiejes, a partir de la (54) de la teoría de Sommerfeld.

Llamando  $b_1'''$ ,  $b_2'''$ , y  $b_3'''$  a los semiejes menores de las órbitas  $4_1$ ,  $4_2$  y  $4_3$  respectivamente, tendremos para los mencionados semiejes en el caso de tratarse del átomo de K, los siguientes valores:

$$b_1''' = \frac{4}{19} a_0, \quad (73),$$

$$b_2''' = \frac{8}{19} a_0 \quad (74), \quad \text{y} \quad b_3''' = \frac{12}{19} a_0 \quad (75)$$

Las excentricidades correspondientes serán:

$$\varepsilon_1''' = \frac{1}{4} \sqrt{15}, \quad \varepsilon_2''' = \frac{1}{4} \sqrt{12} \quad \text{y} \quad \varepsilon_3''' = \frac{1}{4} \sqrt{7} \quad (76)$$

Si observamos las igualdades (73), (74) y (75), veremos que los semiejes menores de las órbitas elípticas de un mismo grupo forman una progresión aritmética. La razón de esa progresión para las órbitas elípticas del piso N del átomo de K, es naturalmente  $\frac{4}{19} a_0$ . El hecho que acabamos de señalar se cumple en todos

los pisos electrónicos conforme puede demostrarse.

En igual forma podrían calcularse las órbitas estacionarias del piso N de los restantes elementos del 4º período, y, más aún generalizando las precedentes consideraciones, las órbitas de un piso cualquiera, tomadas en el átomo de un elemento dado, sea cual fuere el período a que pertenezca.

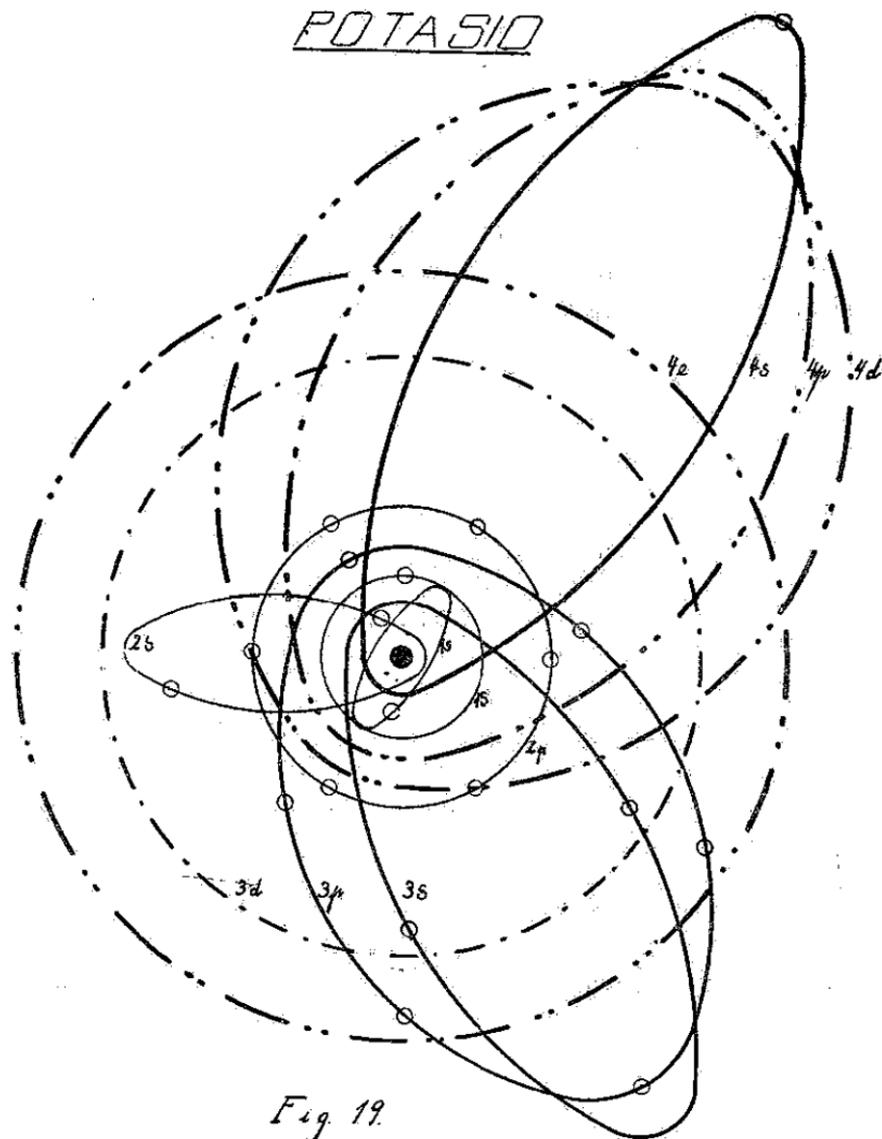
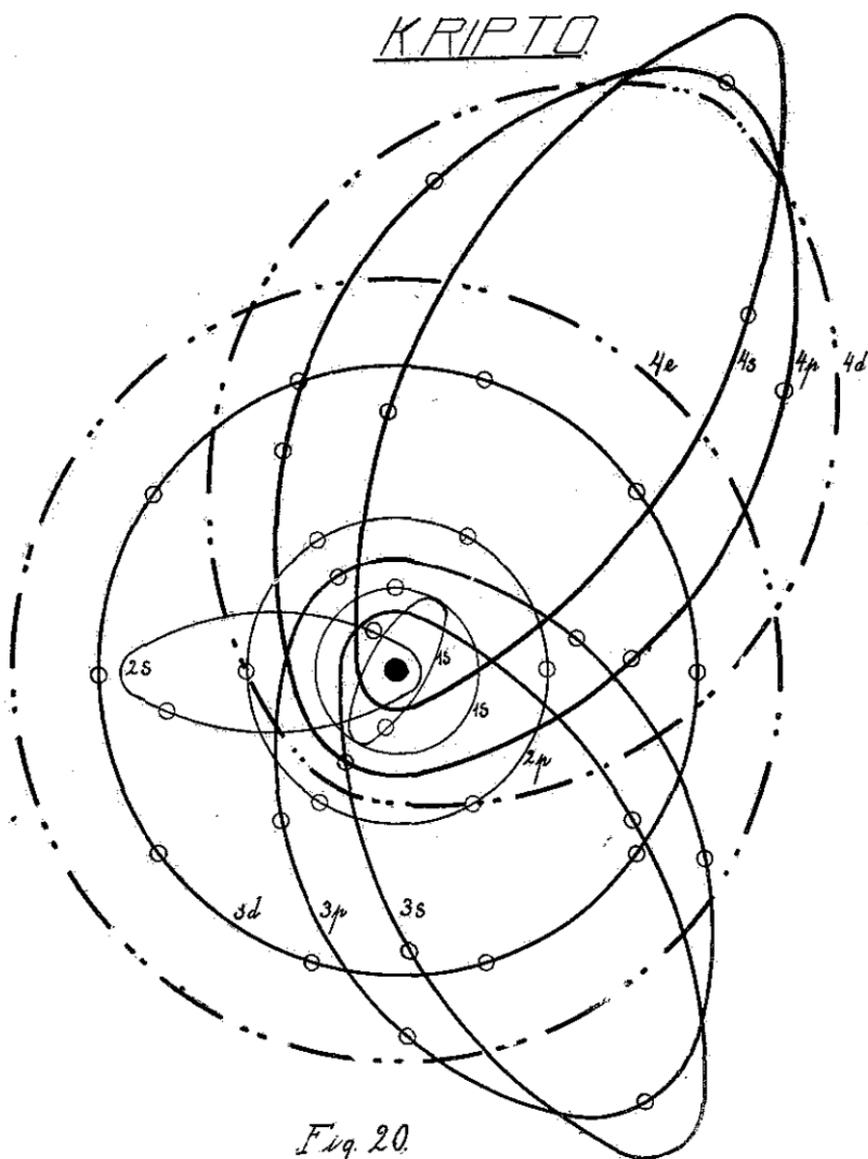
POTASIO

Fig. 19.

En la figura 20 hemos representado el átomo del último elemento del 4.º período del sistema de Mendelejeff.



## 13 EL NUCLEO Y SU ESTRUCTURA.

Al estudiar el modelo atómico de Rutherford, hemos tenido oportunidad de referirnos a los razonamientos que llevaron a este investigador a la conclusión de que, en el núcleo se hallaba concentrada la mayor parte de la masa del átomo. Por otra parte, en el párrafo que hemos dedicado a la determinación de la masa del electrón, vimos que este último, aun en el caso del H, que es el elemento de menor peso atómico como sabemos, representa apenas una insignificante porción de la masa del átomo total. Dijimos también anteriormente los motivos por los cuales era necesario admitir que la carga eléctrica del núcleo es positiva y cuantitativamente igual a la suma de las cargas eléctricas de los electrones periféricos. Teniendo en cuenta las consideraciones que preceden, y recordando que la masa del electrón es a la masa del átomo total de H como 1 : 1850 aproximadamente, fácil será comprender la relación siguiente:

$$A = M + \frac{Z}{1850} \quad (77)$$

en la cuál A, representa la masa relativa del átomo neutro de un elemento cuyo número de orden es Z, y M la masa del núcleo.

Siendo como ya lo hemos dicho en repetidas ocasiones, la masa del electrón, casi despreciable, podrá inferirse de la (77) que

$$A = M.$$

Si en virtud de esta última igualdad se supone que la masa del protón (núcleo del átomo de hidrógeno) es igual a 1; no será difícil inferir que la masa del núcleo de un átomo dado, está formada en primer término, por un número de protones igual a A, siendo A un número entero. De este modo tendríamos la igualdad siguiente:

$$M = \text{suma de las masas de } A \text{ protones,}$$

siendo M la masa del núcleo, del átomo de masa relativa A.

Por otra parte, solamente en el caso del átomo de H se cumple la igualdad entre los números que expresan el peso atómico y el número de orden del elemento, siendo el 1° de estos valores mayor en todos los restantes elementos, que el 2°. Ahora bien, como el número de orden nos da el número de cargas elementales planetarias que existen en el átomo neutro del elemento correspondiente, para igualar en cantidad la carga eléctrica positiva del núcleo, a la suma de las cargas negativas de los electrones periféricos, es menester suponer que, en la constitución del núcleo entran  $A - Z$

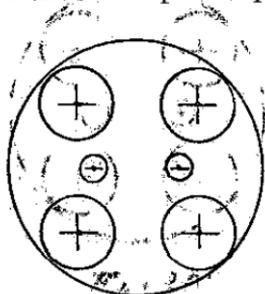


Fig. 20'

cargas elementales negativas destinadas a neutralizar el exceso de electricidad positiva. Por otra parte, la presencia de cargas negativas en el núcleo imposibilitaría la mutua repulsión que en razón de la igualdad de sus cargas eléctricas tendería a alejar entre sí a los protones. Para referirnos al caso más simple, el átomo de He, que tiene una masa relativa al átomo de H, aproximadamente 4 veces mayor que la de este

último elemento, poseerá en su núcleo cuatro protones. Mas como el número de electrones periféricos es 2, ( $Z = 2$ ), existiría una desigualdad manifiesta entre las cargas eléctricas planetarias y la carga positiva del núcleo, si no entraran en su constitución, al lado de los 4 protones, dos electrones, como hemos esquematizado en la Fig. 20'. El núcleo del átomo de Vanadio  $A = 51$   $Z = 23$ , estará compuesto, razonando de la misma manera por 51 protones y  $(51 - 23)$  28 electrones

Las consideraciones que anteceden pueden generalizarse a los átomos de todos los elementos, con lo cual dejaremos desde ya establecido que el núcleo del átomo de un elemento de peso atómico  $A$ , está formado por  $A$  protones, siendo  $A$  un número entero, entrando además en su constitución  $A - Z$  electrones, si  $Z$  es el número de orden del elemento. De este modo quedaría demostrado que los núcleos de los átomos de todos los elementos están constituidos por protones y electrones sencillamente.

Ahora bien, uno de los problemas de mayor interés de la física del átomo, ha sido el de conocer la forma en que se hallan dispuestas en el interior del núcleo, aquellas cargas eléctricas elementales. Mas de un investigador ha aventurado representaciones de la disposición espacial de las mismas, en el reducido volumen ocupado por el núcleo; pero casi todos los tratadistas convienen en que tales modelos nucleares son enteramente arbitrarios desde que no existen aún elementos de juicio suficientes, capaces de corroborarlos. Sin embargo, si en algo se muestran de acuerdo la mayor parte de los investigadores, es en admitir que, en la constitución del núcleo entran a la vez protones y electrones libres y además partículas  $\alpha$ . Se ha llegado a esta conclusión a partir del conocimiento de los fenómenos radioactivos, que en un párrafo anterior hemos resumido ligeramente, por lo cual, no insistiremos mayormente en este lugar. Recordaremos tan sólo que no es muy aventurada aquella afirmación, si se tiene en cuenta que las "transmutaciones" espontáneas que experimentan los cuerpos radioactivos, son directamente tributarias de la pérdida por parte de los átomos mismos de partículas  $\alpha$  y electrones (rayos  $\beta$ ), como sabemos. Por otra parte, los fenómenos de desintegración artificial del núcleo, que más adelante estudiaremos, permiten generalizar aquella hipótesis, aún a los elementos que no presentan radioactividad, por lo cual, podemos decir que los núcleos de todos los elementos están constituídos por partículas  $\alpha$ , electrones y protones.

Teniendo en cuenta lo que llevamos dicho, podrá representarse el peso atómico  $A$  de un elemento dado, haciendo abstracción de la masa de los electrones, por la fórmula:

$$A = 4n + p. \quad (78)$$

siendo  $p = 0, 1, 2$  ó  $3$ . Además,  $n$  representaría el número de partículas  $\alpha$  que entran en la constitución del núcleo; (recuérdese que la partícula  $\alpha$  es el núcleo del átomo de He, cuya masa relativa es 4);  $p$  representa en cambio los protones (núcleos de átomos de H) libres del núcleo.

Hace un momento, dijimos que en la constitución del núcleo entraban además de los protones,  $A - Z$  electrones, teniendo en cuenta la igualdad (78), fácil es ver que de estos  $A - Z$  electrones,  $2n$  entran en la constitución de las  $n$  partículas  $\alpha$ , de manera que el número  $x$  de los electrones nucleares libres será:

$$x = A - Z - 2n. \quad (79)$$

Podría hacerse la objeción de que, en todas las consideraciones que acabamos de exponer, se ha supuesto que los pesos atómicos  $A$  son números enteros; a propósito de esto veremos de inmediato al estudiar la isotopía, que los pesos atómicos de todos los elementos, relativos al peso del átomo de H, supuesto este último igual a 1, pueden considerarse en el actual estado de nuestros conocimientos como verdaderos números enteros.

Las ideas que acabamos de resumir acerca de la constitución del núcleo, han tenido que ser ligeramente modificadas en estos últimos tiempos, a raíz del descubrimiento del neutrón. Conócese con este nombre a una partícula exenta de carga eléctrica, y de masa aproximadamente igual a la del protón.

Las opiniones de los investigadores acerca de la naturaleza del neutrón, están aún divididas, así mientras Chadwick y Rutherford lo asimilan a un átomo de H. cuyo electrón en lugar de moverse alrededor de su núcleo, se ha unido a él, permaneciendo adheridos por así decirlo, protón y electrón negativo; los esposos Joliot-Curie piensan que el neutrón es una partícula en cuya constitución no intervendría la energía eléctrica: se trataría simplemente de un protón que habría perdido su carga eléctrica por emisión de un "electrón positivo". Tendremos más adelante oportunidad de referirnos a este último, por ahora recordaremos únicamente, que en virtud de estos nuevos hechos tiende a aceptarse que, en la constitución del núcleo intervienen solamente protones y neutrones.

## 14. LOS FUNDAMENTOS DE LA ISOTOPIA.

En un párrafo anterior, dedicado al estudio de los rayos canales, dimos las razones por las cuales era menester considerarlos como de naturaleza corpuscular; poseyendo los corpúsculos cargas eléctricas positivas, y siendo la masa de los mismos del orden atómico o molecular.

Estudiando Aston los rayos descubiertos por Goldstein, encontró un procedimiento que le permitía determinar con gran exactitud la carga específica de las partículas que los constituyen, valor mediante el cual puede calcularse como ya sabemos la masa de las mismas. Haciendo tal género de determinaciones pudo comprobar aquel investigador, que en realidad, para un elemento dado, no todas las partículas de los rayos positivos con él obtenidos, tenían la misma masa. Era menester concluir pues, que los átomos del elemento supuesto puro, encerrado en el tubo de descarga, no eran todos estrictamente iguales entre sí, desde que si bien, poseían las mismas propiedades químicas, diferían en cambio por sus masas relativas.

Llevando este género de investigación, a distintos elementos pudo coepróbarse que muchos de aquellos que antes de Aston se consideraban como formados por átomos absolutamente iguales entre sí, tanto en sus propiedades físicas como químicas, no eran sino "mezclas" de átomos, que si bien se comportaban idénticamente en las reacciones químicas en que intervenían, tenían sin embargo una diferencia física ponderable: la diferencia de masa, como ya hicimos notar.

Ahora bien, sabemos que en cada una de las casillas de la clasificación de Mendelejeff se encuentra un elemento de propiedades químicas definidas, y como las experiencias que acabamos de mencionar demostraron que átomos de distinta masa podían, sin embargo, poseer idénticas aquellas propiedades, fué menester incluir esos elementos, a pesar de la diferencia física que los alejaba, en una misma casilla o lugar de aquella clasificación. De este hecho nació el concepto de isotopía, palabra que etimológicamente significa: "igual lugar".

Para citar tan sólo un ejemplo, tomaremos el caso del Argo, elemento que figura en las tablas bajo el número de orden 18, con un peso atómico de 39,94. Si provocamos la descarga eléctrica en un tubo de rayos canales que contenga Argo enrarecido, y medimos la desviación magnética y eléctrica de los rayos positivos resultantes, podremos comprobar que no todos ellos son desviados con igual intensidad por un mismo campo. Ya hemos dicho anteriormente que la desviación del haz positivo depende de la masa de las partículas que lo constituyen, por lo cual a desviaciones diferentes deben corresponder partículas de masa también distinta. Si a partir del valor de las desviaciones observadas calculáramos: primero las cargas específicas correspondientes y luego las masas respectivas, veríamos en el caso particular del Argo que estamos estudiando, que existen dos clases de átomos de este elemento: unos cuya masa relativa a la del átomo de H es 36 y otros cuya masa relativa a la del mismo elemento es 40.

El hecho de que, en las mediciones del peso atómico realizadas con anterioridad a las observaciones de Aston, se halla obtenido para aquel elemento un peso atómico igual a 39,94, deriva a no dudarlo de que, en una cierta cantidad de Argo, existen en mayor proporción átomos de peso 40 que átomos de peso 36, por lo cual el peso atómico resultante se acerca más al 1er valor que al 2°.

En el párrafo anterior, hemos estudiado la estructura del núcleo, y ahora que en parte la conocemos, podremos fácilmente dar una explicación de la isotopía.

Para referirnos al caso de los isótopos del Argo que acabamos de estudiar, es menester suponer que el átomo de Argo de peso 36, posee un núcleo formado por 36 protones y  $36 - 18 = 18$  electrones, con lo cual, la carga positiva del núcleo será de 18 cargas elementales, es decir, igual a la suma de las cargas electrónicas periféricas dada por el número de orden del elemento. En cambio, el núcleo del átomo de Argo de peso 40, estará constituido por 40 protones y  $40 - 18 = 22$  electrones, con lo cual el peso atómico del elemento habrá aumentado en 4 unidades con respecto al peso del primer isótopo, pero la carga total del núcleo

será siempre la misma e igual al número de electrones planetarios, del cual como sabemos, dependen las propiedades de los elementos que varían periódicamente. Damos a continuación una tabla de algunos de los numerosos isótopos hasta ahora descubiertos:

Nº. de orden	Elemento.	Peso atómico	Masa de los isótopos	Núcleo:	
				Protones	Electrones
3.	Litio.	6,94.	{ 6.	6.	3.
			{ 7.	7.	4.
5.	Boro.	10,82.	{ 10.	10.	5.
			{ 11.	11.	6.
10.	Neo.	20,20.	{ 20.	20.	10.
			{ 22.	22.	12.
12.	Magnesio.	24,32.	{ 24.	24.	12.
			{ 25.	25.	13.
			{ 26.	26.	14.

Observando en la precedente tabla, la columna en la cual se dan las masas relativas de los distintos isótopos, podrá verse que los valores que en ella se encuentran son todos números enteros.

Este hecho se explica perfectamente, si teniendo en cuenta lo que dijimos acerca de la constitución del núcleo, se recuerda que solamente puede intervenir en ella un número entero de protones y nunca fracciones de los mismos; desde que el protón representa, como sabemos, la carga elemental de electricidad positiva, al menos en el actual estado de nuestros conocimientos.

Despreciando siempre en lo que a la masa total del átomo se

refiere, la masa de los electrones nucleares y planetarios, no será difícil concebir que: “los pesos relativos de los átomos de todos los elementos, con respecto al peso de un elemento dado, pueden ser considerados como números enteros”, proposición que habíamos adelantado en el párrafo anterior, como se recordará.

Tendremos ocasión de conocer otros interesantes casos de isotopía al estudiar en un párrafo próximo la radioactividad artificial.

## 15. LA DESINTEGRACION DEL NUCLEO. INTERPRETACIONES DE RUTHERFORD Y PERRIN. TRANSMUTACION DE LOS ELEMENTOS

Haciendo atravesar un haz de partículas  $\alpha$  a través de una masa de aire, pudo comprobar Rutherford, que en ella se originaban rayos de notable alcance, constituídos por partículas que debieron homologarse a protones (núcleos de átomos de H), después de haber sido estudiada la desviación que experimentan las mismas al ser sometidas a la influencia de los campos magnético y eléctrico. El alcance de las partículas H. originadas al hacer pasar el haz  $\alpha$  a través del aire, es de unos 40 cms. Si pretendemos obtenerlas a partir de una atmósfera de  $O_2$  ó de  $CO_2$ , gases que se encuentran normalmente en el aire, como es sabido, la placa fluorescente no revelará ni la más mínima producción de las mismas; todo al contrario de lo que ocurre al hacer pasar las partículas  $\alpha$  a través de una atmósfera de nitrógeno puro, pues en este último caso el número de escintilaciones determinadas por los choques de las partículas H que en ella se originan, contra la pantalla fluorescente, es mayor que cuando el haz radioactivo atravesaba el aire simplemente.

Podría pensarse que son las mismas partículas  $\alpha$  provenientes del preparado radioactivo, las que provocan las escintilaciones, pero en realidad no es así, pues se comprueba que el alcance de las partículas H originadas, es siempre considerablemente mayor en el seno de una misma masa gaseosa, que el alcance de las primeras.

Las experiencias que acabamos de mencionar, condujeron a Rutherford, a la suposición de que, al chocar las partículas  $\alpha$  con el núcleo del átomo de N, éste estallaba desprendiéndose del mismo un protón, pues no podía explicarse de otro modo la presencia de protones en una atmósfera totalmente privada de H. De este modo, trataríase, pues, de una verdadera desintegración del núcleo.

Con la explicación de Rutherford, quedaba a oscuras el destino de la partícula  $\alpha$  que había provocado la desintegración. Perrin dió una curiosa y a la vez nueva explicación de aquel fenómeno, aceptando que al ser alcanzado el núcleo del elemento "bombardeado", por la partícula  $\alpha$ , ese núcleo se unía a esta última originándose en virtud de ello un nuevo átomo. Ese nuevo átomo cuya masa sería en 4 unidades mayor que la del átomo bombardeado, tiene como carácter más saliente (posiblemente en virtud del desequilibrio electrostático creado en él por el aumento de la carga nuclear), su gran inestabilidad, por lo cual, a poco de formarse estallarí, poniendo en libertad un protón y dejando un resto atómico en 3 unidades solamente más pesado que el átomo primitivo.

En el caso del átomo de nitrógeno, de masa relativa 14, al que nos referíamos anteriormente, el núcleo fijaría la partícula  $\alpha$ , y se originaría de esa manera un átomo nuevo, de masa 18. El núcleo de este átomo inestable no tarda en estallar dando origen a un protón ( $H^+$  masa 1), y dejando un resto nuclear de masa 17, que no es sino el núcleo del átomo de un nuevo elemento, isótopo del Oxígeno, descubierto en estos últimos años.

La transformación que de ese modo se cumple, puede ser representada por una ecuación análoga a aquéllas que usa la Química para expresar las reacciones objeto de su estudio.



En esta igualdad, los números subrayados representan los números atómicos de los elementos, y los que se hallan entre paréntesis los pesos atómicos correspondientes. Estaría demás hacer

notar que la ecuación precedente es la expresión de una verdadera "transmutación" de elementos.

En las figuras de más adelante, hemos tratado de representar gráficamente la interpretación de Perrin de la transmutación del N.

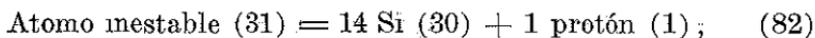
Se ha figurado de gran tamaño el núcleo del átomo de aquel elemento y en desproporción con el volumen de la partícula  $\alpha$ , con el objeto de poder esquematizar la fusión de ambos núcleos en el átomo inestable. Además damos en el gráfico las dos fases del proceso, de las cuales la ecuación última no es sino el resumen.

En las figuras 21 y 22 se ha omitido la representación de los protones y electrones nucleares del átomo neutro de N, así como también de los restantes átomos. Se notará finalmente, que el átomo del isótopo del O, de masa 17, que resulta de la desintegración del átomo inestable, no es en realidad un átomo neutro; pues mientras su núcleo consta de ocho cargas elementales positivas, alrededor de él giran siete electrones planetarios únicamente, por lo cual debe convenirse que el mencionado átomo se halla al estado de ion positivo. En suma, todo ocurre como si el átomo neutro del isótopo resultante hubiese perdido un electrón planetario.

No solamente el N. es capaz de experimentar tal orden de transformaciones, en efecto entre otros elementos, el Al, al ser bombardeado mediante partículas  $\alpha$ , se comporta de modo enteramente análogo. En el caso de este elemento, la primera fase del proceso conduce a la formación de un átomo inestable de masa relativa 31, según la igualdad siguiente:

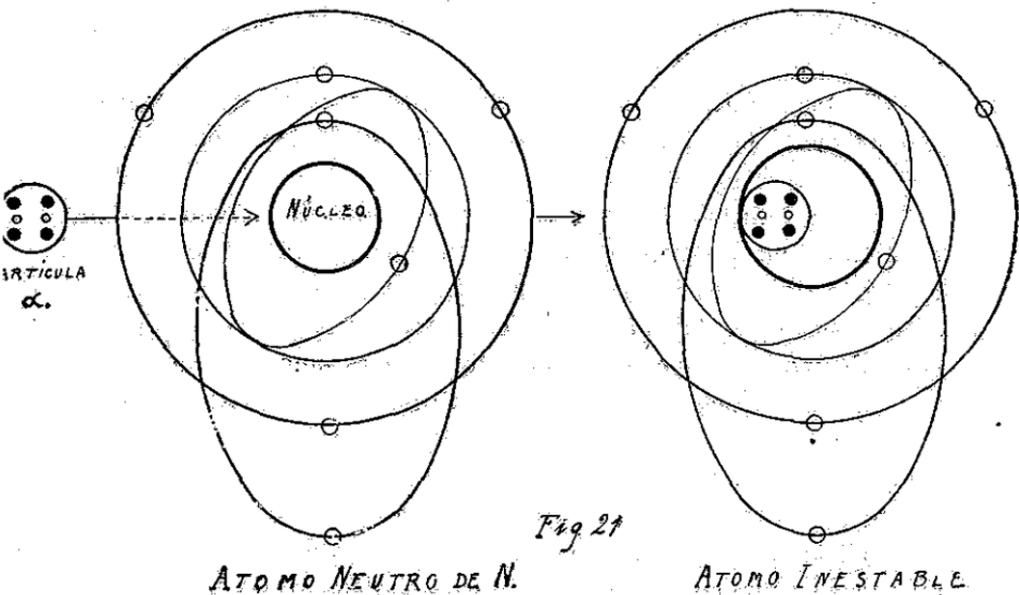


A su vez el átomo inestable que así resulta no tarda en desintegrarse por dislocación de su núcleo que pierde un protón.

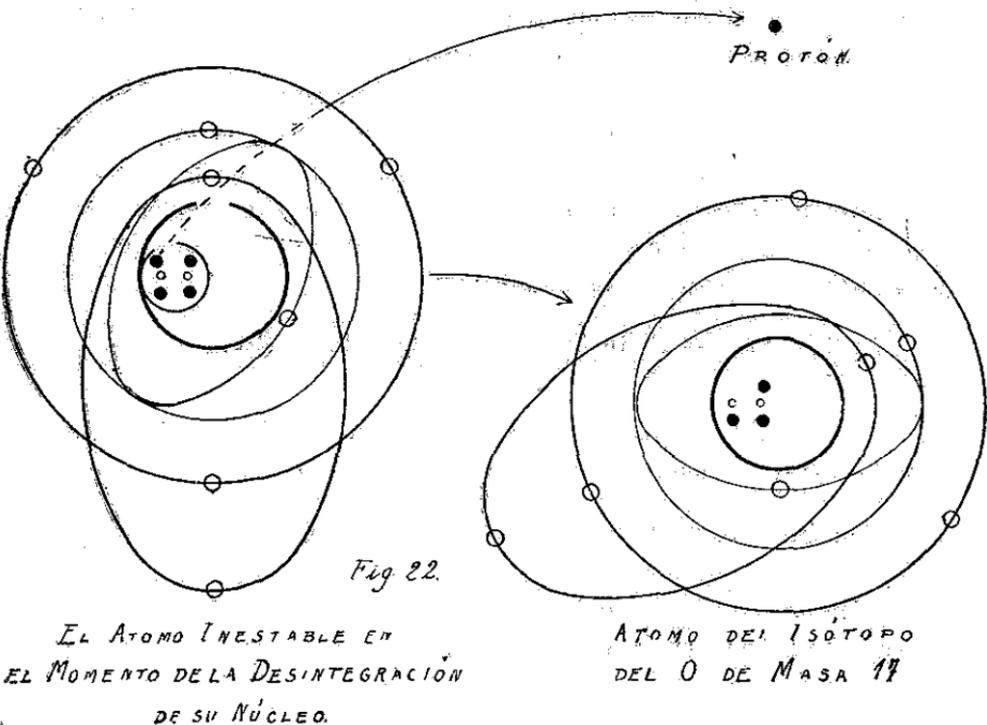


originándose en el caso del Al, un isótopo del Si, de masa relativa 30, como se ve en la última igualdad.

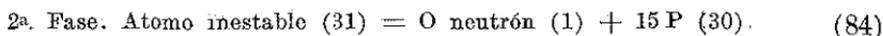
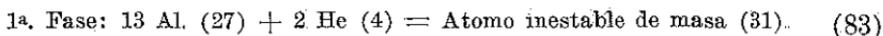
1ª FASE: FORMACIÓN DEL ATOMO INESTABLE



2ª FASE: DESINTEGRACION DEL NUCLEO DEL ATOMO INESTABLE



Finalmente, al lado de estos casos de transmutación, en cierto modo sencillos, si se quiere, los esposos Joliot-Curie, comprobaron que el bombardeo por medio de partículas  $\alpha$  de ciertos elementos como el F., el Na y el mismo Al, iba acompañado en ciertos casos de un desprendimiento de "neutrones", es decir de partículas, que poseyendo una masa parecida a la de los protones carecen de carga eléctrica. Para estas partículas se ha reservado el número de orden 0, por lo cual la transformación del átomo de Al, en el caso de emisión por el mismo de un neutrón, podrá representarse del siguiente modo:



Conforme se desprende de esta última igualdad este modo particular de transmutación del átomo de Al. conduce a la formación de un isótopo del P, de masa relativa 30.

Más adelante, tendremos ocasión de conocer otras importantes transmutaciones análogas a las que acabamos de estudiar.

## 16. LA RADIOACTIVIDAD ARTIFICIAL. EXPERIENCIAS DE IRENE CURIE Y FREDERIC JOLIOT.

Observando en una cámara de nubes, de Wilson, los rayos emitidos por los átomos de Al. al ser bombardeados por partículas  $\alpha$  provenientes de un preparado de Po, para cuyo objeto el fragmento de Po. era introducido en una cápsula de Al; pudieron comprobar los esposos Joliot - Curie, no solamente el desprendimiento de protones, conforme se indica en las ecuaciones (81) y (82); sino también la liberación por los átomos de aquel mismo elemento, de una cantidad más o menos considerable de electrones negativos y de "electrones positivos".

Estos últimos, de los cuales no habíamos hablado hasta este momento, son partículas cargadas de electricidad positiva, cuya

masa es considerablemente menor que la del protón, pues en este sentido se acercan mucho a los electrones, circunstancia a la cual deben el nombre que llevan. El estudio detenido de las experiencias que llevaron al conocimiento del electrón positivo, no podemos hacerlo en esta ocasión, por lo cual nos limitaremos solamente a recordar que esta nueva especie de electrones fué descubrir-

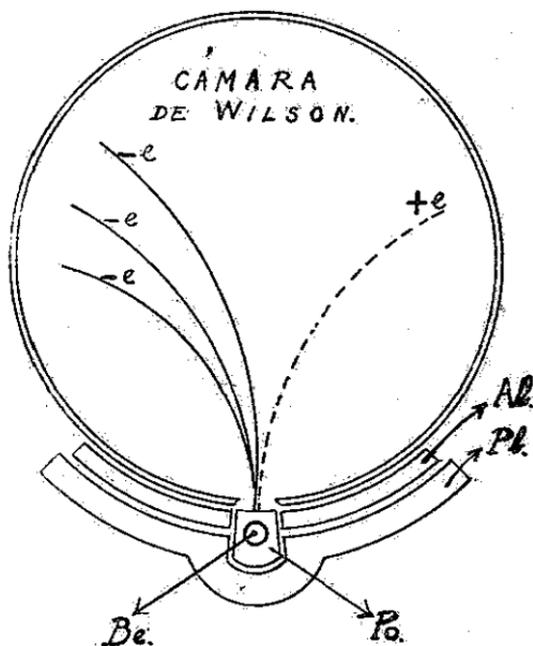


Fig. 23.

ta por el físico americano Anderson hacia 1932, mientras realizaba estudios sobre los rayos cósmicos. Mediciones de la carga específica del electrón positivo, demostraron que la masa del mismo es aproximadamente igual a la masa del electrón negativo, que ya conocemos; en cuanto a su carga eléctrica positiva pudo demostrarse que es igual en cantidad a la carga eléctrica del protón, es decir: se trata de una unidad electroestática cegesimal de electricidad positiva.

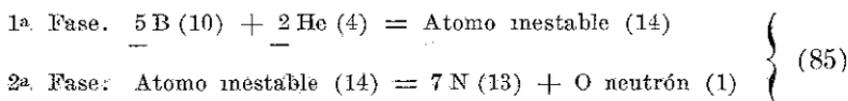
Puede provocarse también el desprendimiento de electrones

positivos, disponiendo la fuente de Po en contacto con un trocito de Be en la forma que indica la Fig 23, que reproduce uno de los dispositivos utilizados en sus investigaciones por los esposos Joliot - Curie. Estos últimos investigadores, realizando experiencias del género antes indicado, lograron demostrar que la emisión de electrones por el Al irradiado decrece en progresión geométrica a lo largo de lapsos crecientes en progresión aritmética, reduciéndose el valor de aquella actividad en el caso del Al a la mitad en 3' 15".

Mas, como tal proporción de disminución de la actividad, es enteramente característica de los cuerpos radioactivos, fué menester admitir que un cierto número de átomos de Al, se transformaban, al ser alcanzados por las partículas  $\alpha$ , en átomos de algún nuevo elemento, fundamentalmente distinto del primitivo; y a su vez distinto de los elementos radioactivos hasta entonces conocidos desde que en estos últimos no tiene lugar el desprendimiento de electrones positivos, conforme hemos visto al estudiar en un párrafo anterior los hechos elementales de la radioactividad.

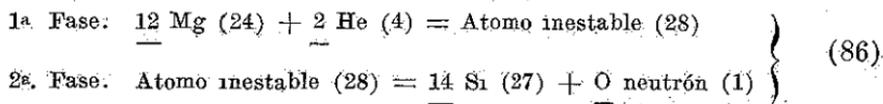
Lo mismo que con el Al. acontece con el boro y el magnesio cuando son irradiados con partículas  $\alpha$ . La radioactividad del Bo, así creada, si es posible el uso de esta expresión, disminuye a la mitad en 14 minutos y en 2' 45" la del Mg. La explicación de Perrin, que hemos estudiado en el párrafo anterior, puede aplicarse enteramente para dar cuenta de las transmutaciones operadas por los átomos de Bo y de Mg, comprobándose que los nuevos elementos a partir de ellos originados, son respectivamente isótopos del N y del Si.

En efecto, en el caso del B tendríamos las ecuaciones siguientes:



Como vemos, estas ecuaciones son enteramente análogas a las ecuaciones (83) y (84) del párrafo anterior, igualmente en el caso del Mg podríamos representar las fases de su transformación

en un isótopo del Si, del siguiente modo:



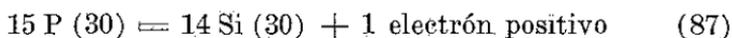
Ahora bien, al estudiar en un párrafo anterior la transmutación del N, siguiendo las ideas de Perrin, vimos que como resultado de la fusión de la partícula  $\alpha$  con el núcleo de este último elemento, se formaba un átomo inestable. Conforme hicimos notar la principal característica de este último, era la de poseer en su núcleo, una cantidad de electricidad positiva, superior en 2 unidades electroestáticas cégesimales, a la suma de las cargas negativas planetarias.

Según demostraron Joliot y Curie en sus investigaciones, los isótopos del P, del N, y del Si, originados por medio del bombardeo de partículas  $\alpha$ , de acuerdo a las fases de transmutación expresadas en las ecuaciones (83), (84), (85) y (86), participan enteramente de los caracteres de los "átomos inestables" de Perrin, residiendo en la fragilidad misma que los caracteriza, la especial forma de radioactividad que presentan.

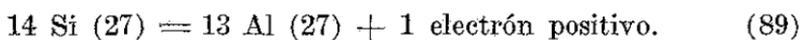
En realidad, no es difícil homologar desde tal punto de vista, (el meramente físico), el átomo inestable representado en las figuras 21 y 22, con los átomos de los isótopos mencionados hace un momento, si se tiene en cuenta que, tanto en uno como en otros cuantitativa y cualitativamente el desequilibrio electrostático creado entre el núcleo y las cargas planetarias negativas, es completamente idéntico. En efecto, observando cualquiera de las ecuaciones citadas últimamente, podremos comprobar que los isótopos que según ellas, se originan, tienen un núcleo cuya carga positiva efectiva, es como en el caso del átomo inestable de Perrin, en dos unidades superior a la suma de las cargas negativas planetarias. Este último hecho se explica por otra parte, perfectamente, si se tiene en cuenta que la transformación del átomo inestable de transición, en el isótopo correspondiente, se realiza a favor de la pérdida por parte del núcleo de 1º, de un neutrón, partícula que carece de carga eléctrica como sabemos

Establecido este paralelismo entre el átomo inestable de transición, de Perrin, y los isótopos descubiertos por Joliot y Curie, se hace desde todo punto de vista necesario admitir, que estos isótopos son a su vez átomos inestables, pues de otra manera no podría explicarse el origen de la especial radioactividad que presentan.

No podríamos asegurar cual es la naturaleza ni el origen de las fuerzas que llevan a los núcleos de estos átomos especiales a la fase de desintegración, mas lo cierto es que ellos, según lo demostraron Joliot y Curie en sus investigaciones, pierden en un momento dado de su existencia efímera, un electrón positivo en la forma que muestra la ecuación siguiente que corresponde a la desintegración del isótopo del P, de masa relativa 30.



Lo mismo que ocurre con el isótopo del P, los isótopos del N y del Si, experimentan su desintegración perdiendo un electrón positivo en la forma siguiente:



Conforme se ve en las ecuaciones precedentes, el cambio experimentado por los átomos de los isótopos radioactivos, no afecta en lo más mínimo, a lo menos prácticamente, la masa relativa de los mismos, pues ya sabemos que, tanto la masa del electrón positivo como la del electrón negativo es por su magnitud, despreciable.

En cambio, los nuevos elementos que de tal modo se originan, difieren fundamentalmente de los primitivos por sus propiedades químicas. En efecto, al perder los núcleos de los isótopos radioactivos una carga elemental positiva, el número de orden del elemento debe retroceder en una unidad en la clasificación de Mendelejeff, pues conforme dijimos en párrafos anteriores, el número de orden de los elementos es función de las cargas eléctricas del núcleo.

Las últimas ecuaciones nos muestran que el isótopo del P se transforma en un isótopo del Si de igual peso atómico que aquél; el isótopo del N en un isótopo del C de peso atómico 13, y finalmente el isótopo del Si en un elemento que, por sus propiedades químicas debe ocupar en la tabla de Mendelejeff la misma casilla ocupada por el Al.

Irene Curie y Frédéric Joliot propusieron reservar los nombres de radioázoe, radiofósforo y radiosilicio para los nuevos elementos por ellos descubiertos.

Investigaciones análogas a las que dejamos consignadas brevemente, han sido repetidas por otros investigadores comprobándose los resultados obtenidos por Joliot y Curie. Átomos de diversos elementos han sido además sometidos al bombardeo mediante los distintos "proyectiles" de que hoy dispone la física del átomo, destacándose entre otros el físico italiano Fermi por sus estudios realizados sobre los elementos radioactivos que se originan mediante el bombardeo de neutrones, partículas que, por carecer de carga eléctrica pueden llegar hasta el núcleo de los átomos, más fácilmente que aquellas que, como los electrones y protones poseen una cierta cantidad de electricidad. En sus experiencias de transmutación, habría encontrado Fermi el elemento 85.

Finalmente, y a propósito del bombardeo por medio de neutrones, recordemos que en los últimos tiempos Irene Curie, en colaboración con Hans von Halban y Pierre Preiswerk, descubrieron por irradiación del torio mediante neutrones, una nueva familia radioactiva, formada por elementos cuyas masas atómicas pueden expresarse mediante la suma  $4n + 1$ , siendo  $n$  un número entero. La existencia de esta familia había sido prevista teóricamente a partir de la observación de que los elementos radioactivos de la familia del torio, tienen todos ellos una masa atómica susceptible de ser expresada por el producto  $4n$ , siendo  $n$  un número entero; y que a su vez los elementos de las familias del U — Ra y del Actinio, poseen masas atómicas que pueden expresarse por las sumas  $4n + 2$  para la primera y  $4n + 3$  para la segunda, siendo siempre los valores  $n$ , números enteros.

---

**AUTOMATISMO DE LAS DIFERENTES PARTES DEL CO-  
RAZON DE LOS BATRACIOS LEPTODACTYLUS OCELLATUS  
Y BUFO ARENARUM**

POR EL

**Dr. A. Sartori**

(Trabajo realizado en el Instituto de Fisiología de la Facultad de Medicina de Córdoba. R. Argentina)

Desde que Stannius en 1852 describió las ligaduras que llevan su nombre, hasta la fecha, no existe libro de Fisiología ni guía de trabajos prácticos que no consigne estas célebres experiencias, con el objeto de demostrar y explicar el automatismo y las propiedades éxito-motoras de los diferentes segmentos del corazón de los batracios.

El hecho de que constituyen una demostración fácil de realizar debido al poco costo del animal y la sencillez del instrumental, explica la difusión alcanzada por estos experimentos. Todo el que tenga experiencia en la enseñanza de Fisiología convendrá, sin embargo, en que sus resultados no son todo lo uniformes que serían de desear y recorriendo algunos de los tratados y textos de fisiología más modernos, se ve que no hay en ellos ni una descripción ni una interpretación uniformes del fenómeno. Así mientras en el tratado de Roger y Binet (10) y en los textos de Gley (4) y de Wiggers (12) se da como definitivo el paro de la porción aurículo ventricular separada del seno venoso, el tratado de Embden y colaboradores (1) y los textos de Höber (5), Landois-Rosemann (6), Macleod (7) y Starling (11) dan solo como transitorio dicho paro. Al cabo de un tiempo más o menos largo según los casos, las aurículas y los ventrículos reiniciarían los latidos con un ritmo más lento e

independiente del ritmo sinusal. De acuerdo con de Cyon (3) esto último sería lo que habría observado el propio Starnius.

La disparidad de las observaciones realizadas en las demostraciones para estudiantes, la falta de uniformidad en los tratados y textos para el relato de los experimentos y resultados, y, además, el hecho de que los batracios usados en nuestros laboratorios no son los mismos que los usados en Europa y Norte América, nos indujeron a efectuar una investigación sistemática acerca del comportamiento de las diferentes porciones cardíacas de los dos batracios más usados como animales de experiencia en nuestros laboratorios: el *Leptodactylus Ocellatus*, impropriamente llamado rana y el *Bufo arenarum* o sapo común. Es un hecho perfectamente conocido que nuestro *Leptodactylus Ocellatus* tiene propiedades cardíacas distintas de las del género *Rana*. En efecto, el corazón de aquel, en contra de lo que sucede con el corazón de las ranas, es sumamente resistente a la acción de los glucósidos digitálicos, hecho comprobado independientemente por Houssay, Petrocchi, Pico, Giordano, etc. (citados por Novelli, 8).

## PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS

Se han hecho observaciones en más de trescientos animales, procediéndose en unos casos a efectuar ligaduras y en otros a efectuar secciones entre las distintas partes cardíacas. Los mismos procedimientos se efectuaron en lotes de igual número de *Leptodactylus Ocellatus* y de *Bufo arenarum*.

Una vez inmovilizados los animales por destrucción espinal (respetando el bulbo) se procedía a descubrir el corazón y contar sus latidos "in situ". Luego, con las precauciones necesarias para no traumatizar demasiado los tejidos, el corazón era extraído mediante un corte efectuado entre las venas cavas y el seno venoso. Inmediatamente después de extraído y seccionado el corazón se colocaba en un vidrio de reloj con solución de Ringer recientemente preparada y todo se colocaba en una cámara de observación mantenida entre 22° y 28° C. En algunos casos se procedió a añadir nicotina o atropina al líquido de Ringer.

En estas circunstancias hemos procedido a realizar los siguientes experimentos: 1) Estudio del comportamiento de cada una de las siguientes porciones aisladas por cortes: seno venoso, aurículas, ventrículo; 2) estudio del segmento sinusal por una parte y del segmento aurículo-ventricular por otra, separados por un corte hecho a nivel del surco seno-auricular; 3) estudio de los segmentos seno-auricular y ventricular, respectivamente, separados por un corte a nivel del surco aurículo-ventricular; 4) estudio de las porciones derecha e izquierda del corazón separadas por un corte longitudinal antero-posterior.

En otras investigaciones se estudió el comportamiento de los mismos fragmentos separados entre sí, no ya por cortes sino por ligaduras, procediéndose, según los casos, a realizar éstas en el corazón "in situ" o en corazones aislados del organismo.

El tiempo de observación se prolongó a veces por espacio de tres horas.

Los cuadros 1, 2 y 3 resumen los resultados encontrados. Para encontrar el error probable de los porcentajes se ha seguido la fórmula preconizada por Biraud (2).

	Leptodactylus		Bufo	
Observaciones efectuadas . . . . .	50		50	
Aumento de la frecuencia del seno aislado . . . . .	41	82 % $\pm$ 3.68	47	94 % $\pm$ 2.33
No hubo aumento . . . . .	9	18 % $\pm$ 3.68	3	6 % $\pm$ 2.33
Aurículas, paro definitivo . . . . .	43	86 % $\pm$ 3.29	36	72 % $\pm$ 4.31
Aurículas, contracciones . . . . .	7	14 % $\pm$ 3.29	14	28 % $\pm$ 4.31
Ventrículo, paro definitivo . . . . .	20	40 % $\pm$ 4.72	16	32 % $\pm$ 4.47
Ventrículo, contrae. rítmicas . . . . .	11	22 % $\pm$ 3.98	17	34 % $\pm$ 4.57
Ventrículo, pocas contracciones . . . . .	11	22 % $\pm$ 3.98	9	18 % $\pm$ 3.68
Ventrículos, contracciones en grupos . . . . .	8	16 % $\pm$ 3.50	8	16 % $\pm$ 3.50

En cuanto a las porciones derecha e izquierda del corazón, separadas por un corte longitudinal, en la mayor parte de los casos, 90 %, ambos segmentos seguían latiendo; casi siempre con una frecuencia distinta, pues solo en cuatro casos la frecuencia de ambos segmentos fué igual. En el 73,33 % de las observaciones efec-

tuadas, el segmento derecho late con una frecuencia mayor que la del izquierdo, y solo en el 20 % de las observaciones, éste predomina sobre aquel. La onda de contracción que nace en el seno y se propaga al resto del corazón, se comporta en la misma forma en ambos segmentos, siguiendo el mismo recorrido: seno, aurículas y ventrículo. Después de tres horas las contracciones quedan localizadas a una región puntiforme del seno, que late con una frecuencia siempre menor.

### DISCUSION

Según puede verse, el seno venoso aislado del resto del corazón, "in situ" o fuera del organismo continúa latiendo siempre, tanto en el *Leptodactylus Ocellatus* como en el *Bufo arenarum*, con la particularidad muy llamativa de que sus latidos son siempre más frecuentes cuando se lo aísla del organismo. Que éste es un fenómeno desvinculado de una acción vagal quedó demostrado por el hecho de que se producía aún en animales con los vagos seccionados con anticipación.

El fenómeno es más manifiesto en los sapos.

Las aurículas cuando quedan aisladas por corte o ligadura casi nunca laten, y la vez que lo hacen, su frecuencia es casi igual a la del seno, lo que nos indica, que una pequeña parte del tejido sinusal ha sido llevado con el corte y es el responsable de las contracciones auriculares.

La adición de atropina al líquido de Ringer no produjo nunca una recuperación de los latidos auriculares. Esto indica que el paro auricular no resulta de un fenómeno de inhibición activo y sostenido similar al que produce el paro total del corazón por estimulación vagal.

El ventrículo, al quedar aislado, en el 65 % de los casos sigue latiendo, algunas veces rítmicamente, pero en general con frecuencia menor que la del seno. En algunos casos se ven pocas contracciones y en otros se observan contracciones en grupos.

El segmento aurículo-ventricular al ser separado del resto del corazón queda definitivamente parado en el 62,25 % de los casos,

CUADRO N° 2

## OBSERVACIONES EN LEPTODACTYLUS OCELLATUS

	Secciones		Ligaduras in-situ		Ligaduras corazón aislado		Totales	
Observaciones efectuadas . . . . .	60		21		21		102	
Incremento de la frecuencia después del corte o ligadura . . . . .	43	71.66 % ± 3.98	6	28.57 % ± 6.80	7	33.33 % ± 7.15	56	54.90 % ± 3.37
Hubo aumento . . . . .	17	28.33 % ± 3.98	15	71.42 % ± 6.80	14	66.66 % ± 7.15	46	45.09 % ± 3.37
Incremento aurículo ventricular paro definitivo . . . . .	45	75. — % ± 3.79	3	14.28 % ± 5.26	7	33.33 % ± 7.15	55	53.92 % ± 3.37
Las contracciones que siguen al corte o ligadura . . . . .	7	11.66 % ± 2.77	6	28.57 % ± 6.80	6	28.57 % ± 6.80	19	18.62 % ± 2.52
Contracciones rítmicas inmediatas . . . . .	4	6.66 % ± 2.23	11	52.38 % ± 7.54	6	28.57 % ± 6.80	21	20.58 % ± 2.69
Contracciones después de paro . . . . .	4	6.66 % ± 2.23	1	4.76 % ± 3.23	2	9.52 % ± 4.41	7	6.86 % ± 1.54



CUADRO N° 3

## OBSERVACIONES EN BUFO ARENARUM

	Secciones		Ligaduras in-situ		Ligaduras corazón aislado		Totales	
Observaciones efectuadas . . . . .	60		21		21		102	
Aumento de la frecuencia despues del corte o ligadura . . . . .	55	91.66 % $\pm$ 2.52	19	90.47% $\pm$ 4.41	14	66.66 % $\pm$ 7.15	88	86.27 % $\pm$ 2.35
Hubo aumento . . . . .	5	8.33 % $\pm$ 2.52	2	9.52 % $\pm$ 4.41	7	33.33 % $\pm$ 7.15	14	13.72 % $\pm$ 2.55
Aumento aurículo ventricular paro definitivo . . . . .	41	68.33 % $\pm$ 4.10	16	76.19 % $\pm$ 6.42	15	71.42% $\pm$ 6.80	72	70.58 % $\pm$ 3.08
Las contracciones que siguen al corte o ligadura . . . . .	4	6.66 % $\pm$ 2.23	—	— — —	2	9.52 % $\pm$ 4.41	6	5.88 % $\pm$ 1.50
Contracciones rítmicas inmediatas . . . . .	6	10.— % $\pm$ 2.61	4	19.04 % $\pm$ 5.92	4	19.04 % $\pm$ 5.92	14	13.72 % $\pm$ 2.13
Contracciones después de paro . . . . .	9	15.— % $\pm$ 3.16	1	4.76 % $\pm$ 3.23	—	— — —	10	9.82 % $\pm$ 2.02

aún en observaciones proseguidas durante más de tres horas, en cambio, en el 37,73 % se ven contracciones, generalmente próximas al momento del corte.

La frecuencia del segmento aurículo-ventricular, en general es menor que la del seno pero hay una diferencia importante, a saber: cuando la separación se hizo con un corte, la frecuencia es menor que la del seno, pero no más de 10 latidos; en cambio, cuando la separación se hizo con ligadura, la frecuencia del segmento aurículo-ventricular es mucho menor, no alcanzando en muchos ni a la mitad de la frecuencia del seno.

### CONCLUSIONES

Todo esto demostraría que la porción cardíaca de más automatismo en el corazón del *Leptodactylus Ocellatus* y del *Bufo arenarum*, al igual que en los otros batracios investigados, es el seno venoso. Las aurículas carecen prácticamente de automatismo, y el ventrículo lo tiene pero en grado reducido, y una vez aislado del resto se manifiesta o no, según los casos, en forma inconstante. Este automatismo ventricular se manifiesta mejor cuando el ventrículo está totalmente aislado que cuando se encuentra vinculado con las aurículas (sección entre seno y aurículas).

### BIBLIOGRAFIA

- 1) BETHE A. — BERGMANN G. — EMBDEN G. y ELLINGER A. — "Handbuch der Normalen und pathologischen Physiologie". J. Springer. Berlín 1926. VII/1 p. 532.
- 2) BIRAUD Y. — Statistiques Sanitaires. "Cours D'Hygiene" bajo la dirección de León Bernard y Robert Debré. Masson et Cie. París 1928. T. II p. 234.
- 3) ELIE de CYON. — "Les nerfs du coeur". Alcan F. París 1905 p. 10.
- 4) GLEY E. "Tratado de Fisiología". 8a. edición española. — Salvat S. A. Barcelona, 1936. p. 354.
- 5) HOBER R. — "Lehrbuch der Physiologie des Menschen". Julius Springer. Berlín, 1934. p. 133.
- 6) LANDOIS ROSEMAN. — "Lehrbuch der Physiologie". 21 Auflage. Urban y Schwarzenberg. Berlín, 1935. p. 129.

- 7) MACLEOD J. J. R. — "Physiology in Modern Medicine". (7ª. edición). Henry Kimpton. London, 1935. p. 169.
- 8) NOVELLI A. — Valoración biológica de polvos y tinturas de digital del comercio. "Rev. Soc. Argent. Biol." 1931. VII-513.
- 9) PICO O. M. — Acción de los digitálicos sobre el corazón aislado del *Leptodactylus Ocellatus*. "Rev. Asoc. Med. Argent." 1922 XXXV. 152.
- 10) ROGER G. H. y BINET L. — "Traité de Physiologie Normale et Pathologique". Masson et Cie. París. 1932. T. V. p. 176.
- 11) STABLING E. H. — "Principles of Human Physiology". Sexta edición revisada por C. Lovatt Evans, J. y A. Churchill. London 1933. p. 735.
- 12) WIGGERS C. J. — "Physiology in Health and Disease". Henry Kimpton. London, 1935. p. 445.