

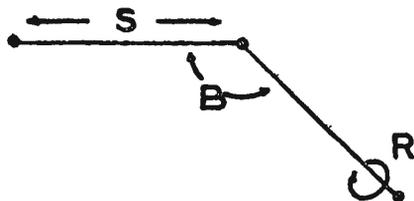
EL ESPECTRO EN EL INFRARROJO APLICADO A LA QUIMICA ORGANICA

Owen H. Wheeler.

Contribución del Instituto de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La absorción en la región del infrarrojo de moléculas sencillas y complejas ha sido por mucho tiempo de interés teórico. En la actualidad estas determinaciones tienen, cada día, una mayor aplicación en la elucidación de la estructura de compuestos orgánicos.

El paso de rayos infrarrojos a través de las moléculas, origina cambios o *transiciones* en los movimientos de vibración y rotación de los átomos que la constituyen. Un cambio o *transición* en la vibración, trae como consecuencia un aumento en la frecuencia de oscilación de los átomos; este aumento puede ser en cualquier de dos direcciones, una debido a tensiones que se manifiestan a lo largo del eje que une los átomos y que se denomina (S) y la otra, una vibración flexionante, debido a la vibración de uno de los átomos en ángulo recto al eje que los une y que se denomina (B).



Una *transición* en el movimiento de rotación, también tiene como consecuencia un aumento en la frecuencia de rotación de un átomo sobre el eje común y a este movimiento se le denomina (R) (Fig. 1). Estos cambios ocurren en todas las uniones entre átomos, así sean sencillas o múltiples, debiéndose a ésto, que todas las moléculas muestren absorción en la región infrarroja del espectro. Esto contrasta con la región ultravioleta en donde solamente moléculas que tienen uniones múltiples (electrones π) muestran absorción.

Así tenemos que un espectro de absorción en la región infrarroja es mucho más detallado que la que se obtiene en la región ultravioleta y teóricamente dá más datos sobre la estructura de las moléculas, aunque algunas veces la interpretación de este espectro complejo, es más difícil.

Todos los tipos de vibración son cuánticos, es decir que se efectúan con cambios pequeños pero claramente perceptibles en la energía, y por lo tanto, dan bandas de absorción claras y definidas.

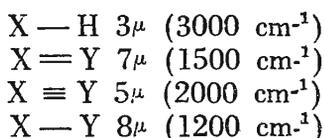
La energía que se necesita para cambiar el movimiento de rotación es pequeña (ca. 0.01 K. cal. mol.), y la absorción ocurre a longitudes de onda mayores de 100μ . Estas longitudes de onda se encuentran en la región del espectro conocida como "micro-ondas" y puede ser estudiado solamente con equipo especial.

Las *transiciones* en vibración implican cambios en la energía de ca. 0.1-5.0 K.cal./mol., y tienen una absorción en la región de $1-30\mu$.

Estas absorciones debido a las vibraciones aparecerían como máximos de una sola línea, pero cada *transición* en la vibración va acompañada de absorción debido a los cambios en rotación de los átomos en la molécula, dando un pequeño máximo linear a cada lado de la absorción principal, por lo que la gráfica del espectro aparece como un pico claro y definido.

Los instrumentos comúnmente usados para análisis en el infrarrojo, cubren la región del espectro comprendido entre $1-20\mu$. ($10.000-500\text{ cm}^{-1}$) y la mayoría de los grupos funcionales en

las moléculas orgánicas absorben en ésta región. La absorción debido a las vibraciones por tensión, aparece entre $3\text{-}10\mu$ ($3.000\text{-}1.000\text{ cm}^{-1}$) y la debida a vibraciones flexionantes entre $10\text{-}20\mu$ ($1.000\text{-}500\text{ cm}^{-1}$). Si X y Y son 2 átomos iguales o diferentes y H es el átomo de Hidrógeno, tendremos que las regiones generales de absorción, para vibración por tensiones, de valencias, sencillas, doble y triple son:



Las bandas de absorción debidas a transiciones por tensión son más seguras para la identificación de grupos, usándose las bandas debidas a vibraciones flexionantes que son menos bien definidas, como una confirmación adicional.

Los sistemas ópticos de cristales de cuarzo absorben las radiaciones infrarrojas a longitudes de ondas mayores de $2\text{-}3\mu$, por lo tanto los prismas y ventanas de los instrumentos para este tipo de radiaciones deben estar hechas de cristales de sales inorgánicas. Las sales más frecuentemente empleadas, junto con las zonas en que se puede trabajar con ellas son:

Li. F. $2\text{-}6\mu$; NaCl $3\text{-}15\mu$; K. Br. $15\text{-}25\mu$.

Como la región de $3\text{-}15\mu$ es la más importante experimentalmente, se usan por lo general sistemas óptimos hechos de cristales de NaCl y por lo tanto, deben tenerse precauciones para excluir el vapor de agua, que atacaría los cristales; esto generalmente se logra por calentamiento del aparato con pequeños filamentos cercanos a los prismas para evitar la condensación; o se encuentra el sistema óptico en una caja evacuada, teniendo el cuarto en que se instale el aparato aire acondicionado.

Las radiaciones infrarrojas son obtenidas de un cuerpo caliente y los sistemas que se usan generalmente son el "filamento

de Nerst" (óxidos de zirconio e itrio) o un bulbo "globar" con filamento de carburo de silicio, los cuales son calentados por el paso de una corriente eléctrica. Los sistemas receptores de estos rayos son, o una termopila, en la cual las pequeñas diferencias de temperatura causada por la radiación se transforman en pequeñas corrientes eléctricas, o un bolómetro, que consiste de una tira de platino cuya resistencia al paso de una corriente eléctrica cambia al cambiar su temperatura.

Estas pequeñas variaciones en la corriente eléctrica, generada o modificada en el receptor, son amplificadas electrónicamente y los resultados son generalmente graficados de un modo continuo en un registrador automático.

Los instrumentos de un solo rayo, registran el espectro de la muestra junto con el del disolvente empleado, así como también el del vapor de agua y de dióxido de carbono que se encuentran en el camino del rayo. Se debe hacer una determinación testigo para corregir por estos efectos. En un instrumento de doble haz, la radiación se pasa alternadamente a través de la muestra y del testigo. La diferencia entre estas absorciones se corrige automáticamente, dando de un modo directo, el espectro del problema.

Cuando la muestra es un gas o líquido se pone en celdillas de longitud apropiada, para que de una intensidad de absorción adecuada. Cuando es sólida, puede usarse en soluciones o en película delgada. No habiendo disolventes transparentes para toda la región del espectro, es necesario escoger varios de ellos para lograr un análisis completo. Generalmente se usa el disulfuro de carbono y el tetracloruro de carbono; el primero absorbe de $6\text{-}8\mu$ y el segundo de $12\text{-}14\mu$. Algunos de los compuestos sólidos no son solubles en estos disolventes y entonces se usa una suspensión ("Mull") de la sustancia en "Nujol"; éste es un aceite parafínico refinado y da bandas de absorción debidas a uniones C—C y C—H, pero como este tipo de unión se encuentra en la mayoría de los compuestos orgánicos, no interfiere en el análisis. También puede emplearse una dispersión de la sustancia problema en bromuro de potasio. Esto se hace moliendo finamente el problema

con bromuro de potasio y luego comprimiéndolo a una pastilla de medidas adecuadas.

El comportamiento de una valencia que está sometida a vibración por tensión, puede compararse al de un resorte con una pesa colocada en uno de sus extremos. La frecuencia del movimiento del sistema, dependerá de la masa (peso) y de la constante de fuerza de la valencia (elasticidad del resorte). De este modo tendremos que átomos pesados, por ejemplo, el azufre y los halógenos serán más difíciles de excitar y la oscilación será de una frecuencia menor y de mayor longitud de onda.

Teniendo en cuenta el efecto de la masa en las vibraciones por tensión, los isótopos de un elemento darán una absorción a diferentes longitudes de onda. Este efecto es muy notable para el sistema hidrógeno deuterio, pero es pequeño cuando la diferencia en masas no es tan grande. Por ejemplo: C^{12} y C^{14} .

La intensidad de la absorción depende también de la fuerza del dipolo, formado por átomos diferentes en sus cargas eléctricas.

Así un grupo $C=O$ da un máximo más intenso que un grupo $C=C$, debido a que el primero está parcialmente polarizado y por lo tanto la valencia se puede desplazar más fácilmente de su posición de equilibrio.

Grupos substituidos simétricamente, por ejemplo: $R-C \equiv C-R$ y $R_2C=CR_2$, absorben muy débilmente o no absorben, ya que no están polarizados y por lo tanto no pueden ser identificados fácilmente.

Los puentes de hidrógeno, también afectan la posición de la banda de absorción; la asociación de grupos $O-H$ o $N-H$ resulta en un desplazamiento a mayores longitudes de ondas (menor frecuencia), debido a que la energía de la unión primaria disminuye. El grupo $N-H$ absorbe a una longitud de onda similar al grupo $O-H$ y pueden ser confundidos fácilmente, pero una función amino-primaria muestra dos máximos debido a la suma y resta de las dos vibraciones por tensión de las uniones $N-H$.

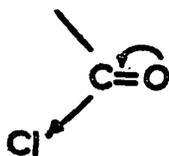
Generalmente la presencia de 2 grupos no saturados en conjugación tiene como consecuencia un aumento en la longitud de onda (menor frecuencia) de ambas bandas, ya que la resonancia en el sistema da algo de carácter de ligadura sencilla a los dobles enlaces, resultando esto en un debilitamiento de la fuerza de la valencia.

Una conjugación con más grupos no saturados tiene muy poco efecto adicional.

La longitud de onda en donde absorbe una doble ligadura $C=O$ (ca. 5.8μ) es muy poco diferente si se trata de un aldehído, cetona, ácido o éster. Sin embargo, en una amida la longitud de onda es mayor (a ca. 6.1μ). Esto es debido a que la resonancia en el sistema aumenta la polaridad del grupo carbonilo, haciendo que la valencia sea más fácilmente desplazable, abatiendo de este modo la frecuencia de oscilación y aumentando la longitud de onda.



Para un cloruro de ácido la absorción es a ca. 5.6μ ; aquí el efecto inductivo del átomo de cloro disminuye la polaridad del grupo carbonilo y refuerza la valencia.



La tensión inducida por un sistema anular también afecta la posición de las bandas de absorción. Así la mayor tensión en anillos de cuatro y cinco miembros, comparada con la de uno de 6 miembros, tiene como consecuencia el reforzamiento de la valencia, dando una absorción a mayor frecuencia o a menor lon-

gitud de onda. Este efecto se observa tanto en lactonas, como en cetonas, y éteres cíclicos.

La tabla I da las posiciones de absorción de varios grupos encontrados comúnmente en compuestos orgánicos.

La tabla II es una lista de regiones de longitud de onda, con la absorción característica de los grupos funcionales. Esta última tabla ha sido hecha siguiendo un orden ascendente de los valores de longitud de onda, de tal modo que para un máximo particular en un espectrograma se pueden asignar grupos posibles. Consultando la tabla I se pueden encontrar otras bandas de absorción típicas de estos grupos, haciendo posible de esta manera una caracterización definitiva de ellos.

La bibliografía se refiere a trabajos que contienen una información detallada en la absorción de grupos particulares.

T A B L A I

Grupos característicos

f = fuerte	m = media	d = débil	a = ancha	
		μ	cm^{-1}	
$\equiv \text{CH}$		3.02 — 3.12	3310 — 3200	m
$= \text{CH}_2$		3.25 \pm 0.01	3080 \pm 10	m
En anillo de 5		3.36 \pm 0.01	2975 \pm 10	f
En anillo de 6		3.25 \pm 0.01	3085 \pm 10	m
	{	7.04 — 7.17	1420 — 1935	m
$= \text{CH}$		3.29 — 3.32	3040 — 3010	m
En anillo de 5		3.28	3055	m
ArH		3.24 — 3.33	3090 — 3000	m, d
$\text{CH}_3 - \text{C}$	{	3.36 — 3.39	2960 + 15	f
Me		3.48 — 3.49	2870 \pm 5	f
<i>i</i> — Pr	{	7.27 \pm 0.05	1375 \pm 10	f
<i>t</i> — Bu		7.25	1380	d
—CH ₂ —	{	7.30	1370	d
—C—H		7.25	1380	d
O—H		7.30	1370	f
libre		3.41 — 3.43	2926 \pm 5	f
asociado		3.50 — 3.52	2850 \pm 5	f
OD libre		6.78 — 7.02	1475 — 1425	f
asociado		3.46	2890	f
N—H —NH ₂		9.26 — 9.71	1080 — 1030	f
libre	{	2.68 — 2.84	3730 — 3520	f
asociado		2.82 — 3.22	3550 — 3100	f, a
libre		3.80 — 3.82	2630 — 2620	f
asociado		3.85 — 4.18	2600 — 2400	f, a
libre	{	6.08 — 6.39	1645 — 1550	d
asociado		2.82 — 2.92	3550 — 3420	m
libre		2.90 — 3.01	3450 — 3320	m
asociado		2.86 — 3.23	3500 — 3100	m, a
—N—H		6.33 — 6.62	1580 — 1510	d
$= \text{N—H}$		2.94 — 3.03	3400 — 3300	d

f = fuerte m = media

d = débil

a = ancha

	μ	cm^{-1}	
S—H	Ca.3.38	Ca.2580	d
C—C —(CH ₂)—	13.5 — 13.9	740 — 720	m
(CH ₃) ₂ CH—	{ 8.55 ± 0.02	1170 ± 3	m
	{ 8.73 ± 0.04	1145 ± 5	m
(CH ₃) ₃ C—	{ 8.00 ± 0.02	1250 ± 2	m
	{ 8.28 ± 0.04	1208 ± 6	m
$\begin{array}{c} \text{Me Me} \\ \\ \text{C—C—C—C} \end{array}$	8.72 — 9.01	1140 — 1110	m
C—O O—Me	7.46 — 7.81	1340 — 1280	f
Eteres no sat., Arilo	7.94 — 8.33	1260 — 1200	f
Eteres saturados	{ 8.70 — 9.35	1150 — 1070	f
	{ 17.2 — 18.5	580 — 540	m
—COO ⁻	{ 6.13 — 6.45	1630 — 1550	f
	{ 6.82 — 7.14	1465 — 1400	m
C—N Sat.	8.70 — 9.09	1150 — 1100	m
No saturados	7.52 — 8.00	1330 — 1250	m
N—Me	7.30 — 7.63	1370 — 1310	m
C—S	14.3 — 16.7	700 — 600	m
C—X C—F	8.39 — 9.90	1120 — 1010	f
C—Cl	13.7 — 15.9	730 — 630	f
C—Br	19.9 — 21.1	525 — 475	f
C=C no conjugado	5.99 — 6.25	1670 — 1600	m
R—CH=CH ₂	{ 10.15 ± 0.05	985 ± 5	f
	{ 11.05 ± 0.06	905 ± 5	f
R ₂ C=CH ₂	11.18 ± 0.06	895 ± 5	f
Anillo >C=CH ₂	11.43	875	f
RCH=CHR trans	{ 7.55 — 7.85	1325 — 1275	m
	{ 10.20 — 10.35	980 — 965	f
cis	{ 7.10 — 7.40	1410 — 1350	m
	{ 14.0 — 14.6	715 — 685	f
RCH=CR ₂	11.9 — 12.5	840 — 800	m, d
Conjugado	6.21 — 6.33	1610 — 1580	f

	f = fuerte	m = media	d = débil	a = ancha	
			μ	cm^{-1}	
Fenilo	{	6.15 — 6.35	1625 — 1575	m	
		6.58 — 6.75	1520 — 1480	m	
Fenilo substituido		12.8 — 13.2	835 — 740	m	
C=O Esteres		5.70 — 5.76	1755 — 1735	f	
Ester conjugado		5.81	1720	f	
Acetato		8.03	1245	f	
Acido		5.68 — 5.82	1760 — 1720	f	
Acido conjugado		5.92	1690	f	
Anhídrido	{	5.38 — 5.56	1860 — 1800	f	
		5.56 — 5.71	1800 — 1750	f	
Cloruros de ácido		5.41 — 5.62	1850 — 1780	f	
Amida	{	5.92 — 6.06	1690 — 1650	f	
		6.13 — 6.17	1630 — 1620	m	
Aldehido		5.78 — 5.97	1730 — 1675	f	
Cetona		5.81 — 5.86	1720 — 1705	f	
α — β Conjugada		5.88 — 6.00	1700 — 1665	f	
α — β , α' — β' conj.		5.99 — 6.06	1670 — 1650	f	
anillo sat. de 6		5.83 — 5.88	1715 — 1700	f	
anillo no sat. de 6		5.95 — 6.01	1680 — 1665	f	
anillo sat. de 5		5.73 — 5.78	1745 — 1730	f	
anillo no sat. de 5		5.81 — 5.85	1720 — 1710	f	
Lactonas (γ)		6.56 — 5.68	1800 — 1760	f	
Lactonas (Δ)		5.68 — 5.81	1760 — 1720	f	
Lact. α — β no sat. (γ)		5.78 — 5.85	1730 — 1710	f	
Lact. α — β no sat. (Δ)		6.01 — 6.10	1665 — 1640	f	
C=N —N=C		6.02 — 6.21	1660 — 1610	f	
C=S		6.45 — 7.09	1550 — 1410	f	
C \equiv C H—C \equiv C—R		4.67 — 4.76	2140 — 2100	m	
R—C \equiv C—R		4.38 — 4.57	2280 — 2190	d	
C \equiv N R—C \equiv N		4.43 — 4.47	2260 — 2240	m	
Conjugado, arilo		4.47 — 4.52	2240 — 2215	m	
R—N \equiv C		4.55 — 4.76	2200 — 2100	m	

	f = fuerte	m = media	d = débil	a = ancha	
	μ			cm^{-1}	
—NO ₂	{	4.00 — 4.17	2500 — 2400	m	
		6.29 — 6.49	1590 — 1540	f	
		7.25 — 7.58	1380 — 1320	f	

Repositorio Instituto de Química UNAM

T A B L A II

Lista de longitudes de onda

μ	cm^{-1}		
2.68 — 2.84	3730 — 3520	f	OH libre
2.82 — 3.22	3550 — 3100	f, a	OH asociado
2.82 — 2.92	3550 — 3420	m	NH ₂ libre
2.86 — 3.23	3500 — 3100	m, a	NH ₂ asociado
2.90 — 3.01	3450 — 3320	m	NH ₂ libre
2.94 — 3.03	3400 — 3300	d	= N—H
3.00 — 3.12	3340 — 3200	m	≡ C—H
3.25 ± 0.01	3080 ± 10	m	= CH ₂
3.28	3055	m	= CH ₂ a un anillo de 5
3.29 — 3.32	3040 — 3010	m	= CH ₂ a un anillo de 6
3.24 — 3.33	3090 — 3000	m, d	ArH
3.25 ± 0.01	3085 ± 10	f	= CH ₂ a un anillo de 5
3.36 ± 0.01	2975 ± 10	f	= CH ₂ a un anillo de 6
3.36 — 3.39	2960 ± 15	f	CH ₃ —C
3.41 — 3.43	2926 ± 5	f	—CH ₂ —
3.46	2890	f	—C—H
3.48 — 3.49	2870 ± 5	f	CH ₃ —C
3.50 — 3.52	2850 ± 5	f	—CH ₂ —
3.80 — 3.82	2630 — 2620	f	—OD libre
Ca.3.88	Ca.2580	d	S—H
3.85 — 4.17	2600 — 2400	f, a	—OD asociado
4.00 — 4.17	2500 — 2400	m	—NO ₂
4.38 — 4.57	2280 — 2190	d	R—C≡C—R
4.43 — 4.47	2260 — 2240	m	R—C≡N
4.47 — 4.52	2240 — 2215	m	—C≡N conj., arilo
4.55 — 4.76	2200 — 2100	m	R—N≡C
4.67 — 4.76	2140 — 2100	m	H—C≡C R
5.38 — 5.56	1860 — 1800	f	Anhídrido
5.41 — 5.62	1850 — 1780	f	Cloruro de ácido
5.56 — 5.68	1800 — 1760	f	γ Lactona saturada
5.56 — 5.71	1800 — 1750	f	Anhídrido

μ	cm^{-1}		
5.68 — 5.81	1760 — 1720	f	Δ Lactona saturada
5.70 — 5.76	1755 — 1735	f	Ester
5.73 — 5.78	1745 — 1730	f	Cetona sat. ciclica de 5
5.68 — 5.82	1760 — 1720	f	Acido
5.78 — 5.85	1730 — 1710	f	γ lactona α — β no sat.
5.81 — 5.85	1720 — 1710	f	Cetona no sat. ciclica de 5
5.81	1720	f	Ester no saturado
5.81 — 5.86	1720 — 1705	f	Cetona
5.78 — 5.97	1730 — 1675	f	Aldehido
5.83 — 5.88	1715 — 1700	f	Cetona sat. ciclica de 6
5.88 — 6.00	1700 — 1665	f	Cetona α — β no sat.
5.92	1690	f	Acido no saturado
5.92 — 6.06	1690 — 1650	f	Amida
5.95 — 6.01	1680 — 1665	f	Cetona no sat. ciclica de 6
5.99 — 6.06	1670 — 1650	f	Cetona α -- β , α' -- β' no sat.
6.01 — 6.10	1665 — 1640	f	Δ lactona α — β no sat.
6.02 — 6.21	1660 — 1610	f	—N=C
5.99 — 6.25	1670 — 1600	m	—C=C—
6.08 — 6.39	1645 — 1550	d	—NH ₂ libre
6.13 — 6.17	1630 — 1620	m	Amida
6.13 — 6.45	1630 — 1550	f	—CO ₂ ⁻
6.15 — 6.35	1625 — 1575	m	Benceno
6.21 — 6.33	1610 — 1580	f	—C=C— conjugado
6.29 — 6.49	1590 — 1540	f	—NO ₂
6.33 — 6.62	1580 — 1510	d	=NH
6.45 — 7.09	1550 — 1410	f	C=S
6.58 — 6.75	1520 — 1480	m	Benceno
6.78 — 7.02	1475 — 1425	f	—CH ₂ —
6.82 — 7.14	1465 — 1400	m	—CO ₂ ⁻
7.04 — 7.17	1420 — 1395	m	=CH ₂
7.10 — 7.40	1410 — 1350	m	RCH=CHR cis
7.25	1380	d	<i>i</i> —Pr, <i>t</i> —Bu
7.27 \pm 0.05	1375 \pm 10	f	Me
7.25 — 7.58	1380 — 1320	f	—NO ₂
7.30	1370	d	<i>i</i> —Pr

μ	cm^{-1}		
7.30	1370	f	<i>t</i> -Bu
7.30 — 7.63	1370 — 1310	m	N—Me
7.46 — 7.81	1340 — 1280	f	O—Me
7.55 — 7.85	1325 — 1275	m	RCH=CHR trans
7.52 — 8.00	1330 — 1250	m	C—N no saturado
7.94 — 8.33	1260 — 1200	f	Eter no saturado
8.00 \pm 0.02	1250 \pm 2	m	<i>t</i> -Bu
8.03	1245	f	Acetato
8.28 \pm 0.04	1208 \pm 6	m	<i>t</i> -Bu
8.55 \pm 0.02	1170 \pm 3	m	<i>i</i> -Pr
8.70 — 9.09	1150 — 1100	m	C—N saturado
8.70 — 9.35	1150 — 1070	f	Eter saturado
8.73 \pm 0.04	1145 \pm 5	m	<i>i</i> -Pr
8.77 — 9.01	1140 — 1110	m	— C — C — Me Me
8.93 — 9.90	1120 — 1010	f	C—F
9.26 — 9.71	1080 — 1030	f	OH libre
10.15 \pm 0.05	985 \pm 5	f	R—CH=CH ₂
10.20 — 10.35	980 — 965	f	RCH=CHR trans
11.05 \pm 0.06	905 \pm 5	f	R—CH=CH ₂
11.18 \pm 0.06	895 \pm 5	f	R ₂ C=CH ₂
11.43	875	f	Anillo > C=CH ₂
11.9 — 12.5	840 — 800	m, d	RCH=CR ₂
12.8 — 13.2	835 — 740	m	Benceno substituído
13.5 — 13.9	740 — 720	m	—(CH ₂) _n —
13.7 — 15.9	730 — 630	f	C—Cl
14.0 — 14.6	715 — 685	f	RCH=CHR cis
14.3 — 16.7	700 — 600	m	C—S
17.2 — 18.5	580 — 540	m	Eter saturado
19.0 — 21.1	525 — 475	f	C—Br

BIBLIOGRAFIA

- General; R. B. BARNES, R. C. GORE, R. W. STAFFORD Y V. Z. WILLIAMS. *Anal. Chem.*, 20, 402 (1948).
- H. W. THOMPSON, *J. Chem. Soc.*, 328 (1948).
- Esteroides; R. N. JONES AND F. HERLING, *J. Org. Chem.*, 19, 1252 (1954).
- Derivados del colestanol; H. ROSENKRANTZ, A. T. MILHORAT Y M. FARBER, *J. Biol. Chem.*, 195, 509 (1952).
- D. R. JOHNSON, D. R. IDLER, V. W. MELOCHE Y C. A. BAUMANN, *J. Am. Chem. Soc.*, 75, 52 (1953).
- Cetonas; N. H. CROMWELL, F. A. MILLER, A. R. JOHNSON, R. L. FRANK Y D. J. WALLACE, *ibid.*, 71, 3337 (1949).
- N. F. FUSON, M. L. JOSIEN Y E. M. SHELTON, *ibid.*, 76, 2526 (1954).
- Dicetonas; R. P. BARNES Y G. E. PINKEY, *ibid.*, 75, 479 (1953).
- Bromocetonas; E. J. COREY, *ibid.*, 75, 2301 (1953).
- Lactonas; R. S. RASMUSSEN Y R. R. BRATAIN, *ibid.*, 71, 1073 (1949).
- Alcoholes; H. H. ZEISS Y M. TSUTSUI, *ibid.*, 75, 897 (1953).
- Glicoles; L. P. KUHN, *ibid.*, 74, 2492 (1952); H. KWART Y W. G. VOSBURGH, *ibid.*, 76, 5400 (1954).
- Acidos; J. T. HARRIS Y M. E. HOBBS, *ibid.*, 76, 1419 (1954); M. J. BENDER, *ibid.*, 75, 5986 (1953).
- Esteres; H. W. THOMPSON Y P. TORKINGTON, *J. Chem. Soc.*, 640 (1945); M. S. C. FLETT, *ibid.*, 962 (1951).
- Amidas; R. E. RICHARDS Y W. H. THOMPSON, *ibid.*, 1248 (1947).
- Nitrilos; N. SHEPPARD Y G. B. B. M. SUTHERLAND, *ibid.*, 453 (1947).
- Acetilénicos; J. H. WOTIZ Y F. A. MILLER, *J. Am. Chem. Soc.*, 71, 3441 (1949); W. B. TREUMANN Y F. T. WALL, *Anal. Chem.*, 71, 1161 (1949).
- Cis etilenos; W. B. HENBEST, G. D. MEAKINS Y G. W. WOODS,

- J. Chem. Soc.*, 300 (1954); R. L. WERNER Y P. D. LARK, *ibid.*, 1152 (1954).
- Epóxidos; O. D. SHREVE, M. R. HEETHER, H. B. KNIGHT Y D. SWERN, *Anal. Chem.*, 23, 277 (1951); A. R. PHILPOTTS Y W THAIN, *ibid.*, 24, 638 (1952).
- Peróxidos; *idem.*, *ibid.*, 23, 282 (1951).
- Bencenos substituídos; D. H. WHIFFEN Y H. W. THOMPSON, *J. Chem. Soc.*, 268 (1945).
- Aromáticos polinucleares; S. F. D. ORR Y H. W THOMPSON, *ibid.*, 218 (1950).
- Acidos grasos; O. D. SCHREVE, M. R. HEETHER, H. B. KNIGHT Y D. SWERN, *Anal. Chem.*, 22, 1498 (1950).
- Acidos Cadena ramificada; N. K. FREEMAN, *J. Am. Chem. Soc.*, 74, 2523 (1952).
- Acidos no saturados; R. G. SINCLAIR, A. F. MCKAY, G. S. MYERS Y R. N. JONES, *ibid.*, 74, 2570 (1952).
- Derivados de azúcares; L. P KUHN, *ibid.*, 74, 2492 (1952).
- Nitro compuestos; R. N. HASZELDINE, *J. Chem. Soc.*, 2525 (1953).
- Esteres fosfóricos; C. I. MEYRLCH Y H. W. THOMPSON, *ibid.*, 225 (1950); L. W. DAASCH Y D. C. SMITH, *Anal. Chem.*, 23, 353 (1951).
- Silicones; C. W. YOUNG, P. C. SERVAIS, C. C. CURRIE Y M. J. HUNTER, *J. Am. Chem. Soc.*, 70, 3758 (1948); R. E. RICHARDS Y H. W. THOMPSON, *J. Chem. Soc.*, 124 (1949).
- Sulfonas; K. C. SCHREBER, *Anal. Chem.*, 21, 1168 (1949).