

**DISEÑO DE UN MÓDULO DIDÁCTICO ACERCA DEL CONCEPTO DE  
ELECTRONEGATIVIDAD E IDENTIFICACIÓN DE LAS CONCEPCIONES QUE  
SOBRE EL MISMO POSEEN UN GRUPO DE ESTUDIANTES PERTENECIENTES  
A UN CURSO DE TEORIAS QUIMICAS IV.**

**HENRY ISAAC CASTRO VARGAS**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
BOGOTA D.C.**

**2005**

**DISEÑO DE UN MÓDULO DIDÁCTICO ACERCA DEL CONCEPTO DE  
ELECTRONEGATIVIDAD E IDENTIFICACIÓN DE LAS CONCEPCIONES QUE  
SOBRE EL MISMO POSEEN UN GRUPO DE ESTUDIANTES PERTENECIENTES  
A UN CURSO DE TEORIAS QUIMICAS IV.**

**HENRY ISAAC CASTRO VARGAS**

**Informe final trabajo de grado; requisito para aspirar al título de Licenciado en  
Química.**

**Director:**

**Msc. MANUEL ANTONIO ERAZO PARGA**

**Profesor del Departamento de Química de la Universidad Pedagógica Nacional**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**

**BOGOTA D.C.**

**2005**

## NOTA DE ACEPTACION

---

**Evaluador**

---

**Director**

**Bogotá D.C. Noviembre 30 de 2005**

***Numerosas son las cátedras, pero escasos son los profesores sabios y nobles.  
Numerosas y grandes son las aulas, pero pocos los jóvenes que realmente  
tienen sed de verdad y justicia. La naturaleza ofrece muchas formas, pero  
raramente produce lo hermoso.***

**De la libertad de enseñanza.**

**Albert Einstein**

## **DEDICATORIA**

**A aquellos que de una u otra forma hicieron posible la culminación de esta etapa: mis padres, por toda su colaboración, tiempo y paciencia, porque sin su ayuda no lo hubiera logrado; Jaime Lamprea Castro por sus consejos y ayuda, que me permitieron formarme como persona; y Kelly Johanna Silva Bustos por su ayuda desinteresada, su compañía en todo momento, y por demostrarme lo importantes que son los sueños.**

**Este escalón es para ustedes tanto como lo es para mi, mil gracias.**

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos a todas las personas e instituciones que de una u otra forma contribuyeron al desarrollo de su formación inicial como docente y la culminación de esta investigación, especialmente a:

La Universidad Pedagógica Nacional por permitir desarrollar su proceso de formación inicial como docente en sus aulas y con la colaboración de sus maestros.

Al Profesor Msc MANUEL ANTONIO ERAZO PARGA, por su colaboración, paciencia y orientación, las cuales que permitieron dar estructura y sentido a la investigación.

A la profesora SONIA ESTHER TORRES GARZÓN, por el espacio cedido para la aplicación del instrumento de recolección de información.

Al profesor Msc MANUEL FREDY MOLINA CABALLERO por su colaboración como evaluador del trabajo de investigación.

A la familia SILVA BUSTOS, por su ayuda incondicional y desinteresada durante este largo proceso, por demostrarme que aun existen personas de buen corazón.

## RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN

<b>RAE N°.</b>	
<b>LOCALIZACIÓN.</b>	Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D.C. Colombia
<b>TÍTULO.</b>	Diseño de un módulo didáctico acerca del concepto de electronegatividad e identificación de las concepciones que sobre el mismo poseen un grupo de estudiantes pertenecientes a un curso de teorías químicas IV.
<b>AUTOR.</b>	Henry Isaac Castro Vargas
<b>PUBLICACIÓN.</b>	Informe final trabajo de grado; requisito para aspirar al título de licenciado en química.
<b>PATROCINADOR.</b>	NINGUNO.
<b>DESCRIPCIÓN.</b>	Diseño de un módulo didáctico acerca del concepto de electronegatividad y su implementación en la determinación de las concepciones que sobre el concepto poseen un grupo de estudiantes inscritos a un curso de teorías químicas IV de la Universidad Pedagógica Nacional.
<b>METODOLOGÍA.</b>	Desarrollo de una investigación bibliográfica sobre el concepto de electronegatividad, diseño de un módulo didáctico acerca del mismo, elaboración y aplicación de un instrumento de recolección de información, identificación de las concepciones de los estudiantes por medio del instrumento de recolección de información.
<b>RESUMEN.</b>	<p>Esta es una investigación desarrollada en el ámbito de la educación la cual surge a partir de una serie de interrogantes acerca de las concepciones que poseen sobre el concepto de electronegatividad los estudiantes inscritos a un curso de teorías químicas IV, segundo semestre del año 2005, perteneciente al proyecto curricular para la formación de licenciados en química de la Universidad Pedagógica Nacional. La investigación esta constituida por dos partes que son; el diseño de un módulo didáctico acerca del concepto de electronegatividad, el cual proporcionó un referente de conocimientos que fue utilizado en la segunda parte de la investigación en la cual se identificaron las concepciones que poseen los estudiantes sobre el concepto.</p> <p>Con base en el módulo didáctico se diseño un instrumento de recolección de información el cual fue aplicado a un grupo de 31 estudiantes quienes se encontraban cursando el espacio académico teorías químicas IV. Los resultados obtenidos por medio del instrumento de información fueron analizados, tomando como punto de referencia el módulo didáctico,</p>

	identificando las concepciones de los estudiantes sobre el concepto de electronegatividad
<b>CONCLUSIONES.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los estudiantes poseen un conocimiento del desarrollo histórico del concepto de electronegatividad muy ambiguo y poco concreto.</li> <li>• Los estudiantes interpretan adecuadamente el concepto de electronegatividad pero no poseen argumentos que justifique su interpretación.</li> <li>• Los estudiantes describen el concepto de electronegatividad superficialmente.</li> <li>• Los estudiantes aplican el concepto de electronegatividad de forma mecánica.</li> </ul>



## INDICE

	Pág.
INDICE	9
<u>INTRODUCCION.</u>	15
1. <u>PROBLEMA.</u>	16
1.1 <u>TITULO.</u>	16
1.2 <u>FORMULACION DEL PROBLEMA.</u>	16
1.3 <u>OBJETIVOS.</u>	17
1.3.1 <u>General.</u>	17
1.3.2 <u>Específicos.</u>	17
1.4 <u>EVALUACION DEL PROBLEMA.</u>	18
1.5 <u>LIMITACIONES DEL PROBLEMA.</u>	19
1.6 <u>SINTESIS DE LA INVESTIGACIÓN</u>	20
1.7 <u>JUSTIFICACION.</u>	22
2. <u>MARCO TEORICO.</u>	24
2.1 <u>ANTECEDENTES.</u>	24
2.2 <u>BASES TEORICAS.</u>	25
2.2.1 <u>FUNDAMENTOS DISCIPLINARES.</u>	25
2.2.2 <u>FUNDAMENTOS DIDACTICOS. Aprendizaje por investigación.</u>	27

2.2.3	<a href="#"><u>FUNDAMENTOS EPISTEMOLOGICOS: Thomas Kuhn, Paradigmas científicos.</u></a>	28
2.2.4	<a href="#"><u>FUNDAMENTOS PSICOLOGICAS: David Ausubel, aprendizaje significativo.</u></a>	31
2.3	<a href="#"><u>DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.</u></a>	34
2.4	<a href="#"><u>HIPOTESIS DE INVESTIGACION.</u></a>	36
3.	<a href="#"><u>PERSONAS QUE PARTICIPARON EN LA INVESTIGACION.</u></a>	38
4.	<a href="#"><u>DISEÑO METODOLOGICO.</u></a>	39
4.1	<a href="#"><u>Población y muestra.</u></a>	39
4.2	<a href="#"><u>Recolección, observación y técnica de análisis de datos.</u></a>	41
5.	<a href="#"><u>RESULTADOS.</u></a>	43
6.	<a href="#"><u>ANÁLISIS DE RESULTADOS.</u></a>	48
7.	<a href="#"><u>CONCLUSIONES.</u></a>	55
8.	<a href="#"><u>RECOMENDACIONES</u></a>	60
	<a href="#"><u>BIBLIOGRAFIA.</u></a>	62
	<a href="#"><u>ANEXOS.</u></a>	64

## LISTA DE FIGURAS.

**Figura 1.** Esquema temático del módulo didáctico sobre el concepto de electronegatividad.

**Figura 2.** Diagrama diseño metodológico.

## LISTA DE TABLAS.

**Tabla 1.** Categorías de clasificación de las respuestas relacionadas con el desarrollo histórico del concepto de electronegatividad.

**Tabla 2.** Categorías de clasificación de respuestas relacionadas con la interpretación, manejo descriptivo, aplicación y relación con la periodicidad química, del concepto de electronegatividad.

## LISTA DE GRAFICAS.

**Grafica 1.** Puntajes obtenidos en las respuestas relacionadas con el desarrollo histórico del concepto de electronegatividad.

**Grafica 2.** Puntajes obtenidos en las respuestas relacionadas con la interpretación del concepto de electronegatividad.

**Grafica 3.** Puntajes obtenidos en las respuestas relacionadas con el manejo explicativo del concepto de electronegatividad.

**Grafica 4.** Puntajes obtenidos en las respuestas relacionadas con la aplicación del concepto de electronegatividad.

**Grafica 5.** Puntajes obtenidos en las respuestas asociadas con la relación del concepto de electronegatividad con la periodicidad química.

## LISTA DE ANEXOS.

[Anexo 1.](#) Módulo didáctico.

[Anexo 2.](#) Instrumento de recolección de información.

## INTRODUCCION.

Las concepciones que los estudiantes poseen sobre un concepto son de gran importancia en el ámbito de la pedagogía y la didáctica de las ciencias, y específicamente de la química, los trabajos desarrollados alrededor de este tema son cada vez más amplios y dotan de herramientas a quienes se desempeñan en la tarea docente. El concepto de electronegatividad es importante en la química y por tal razón una investigación en la que se indague sobre las concepciones que los estudiantes poseen sobre el mismo es significativa para quienes se ocupan de la enseñanza de esta ciencia.

Este es un trabajo de investigación en el cual a partir de un módulo didáctico sobre el concepto de electronegatividad (Anexo 1) se desarrollo un instrumento de recolección de información, cuyo fin era la identificación de las concepciones que sobre el concepto poseen los estudiantes inscritos a un curso de teorías químicas IV, segundo semestre del año 2005, perteneciente al proyecto curricular para la formación de licenciados en química de la Universidad Pedagógica Nacional.

Un grupo de 31 estudiantes, inscritos al espacio académico antes indicado, participo en la aplicación del instrumento de recolección de información, por medio del cual se logro observar la forma como estos conciben el concepto de electronegatividad, es de anotar que el análisis respectivo de los resultados obtenidos en el instrumento se realizo tomando como referente el módulo didáctico desarrollado para la investigación.

## **1. PROBLEMA.**

### **1.1 TITULO.**

DISEÑO DE UN MÓDULO DIDÁCTICO ACERCA DEL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD E IDENTIFICACIÓN DE LAS CONCEPCIONES QUE SOBRE EL MISMO POSEEN UN GRUPO DE ESTUDIANTES PERTENECIENTES A UN CURSO DE TEORIAS QUIMICAS IV.

### **1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA.**

¿Cuales son las concepciones que sobre el concepto de electronegatividad poseen los estudiantes inscritos a un curso de teorías químicas IV, segundo semestre del año 2005, perteneciente al proyecto curricular para la formación de licenciados en química de la Universidad Pedagógica Nacional?

El problema por el cual surge esta investigación se originó a partir de un conjunto de interrogantes relacionados con las concepciones, que sobre el concepto de electronegatividad, poseen los estudiantes; los cuales básicamente se resumen en los siguientes enunciados:

1. ¿Qué conocimiento poseen los estudiantes sobre el desarrollo histórico del concepto de electronegatividad?
2. ¿Cómo interpretan los estudiantes el concepto de electronegatividad?



3. ¿Cómo describen los estudiantes el concepto de electronegatividad?
4. ¿Cuál es la aplicación que los estudiantes dan al concepto de electronegatividad y en qué forma lo hacen?
5. ¿Cómo relacionan el concepto de electronegatividad con otros conceptos y propiedades de la química?

Los interrogantes alrededor de los cuales gira el problema de investigación se generan por una serie de factores teóricos y vivenciales los cuales indican que el desarrollo del proceso de enseñanza aprendizaje del concepto de electronegatividad en el aula es limitado, y esto finalmente contradice los paradigmas que sobre la enseñanza aprendizaje de las ciencias hay en la actualidad, “la importancia de los significados construidos por el alumno en sus intentos por interpretar, dar explicación y sentido al mundo que lo rodea” (Junco J. 1995).

### **1.3 OBJETIVOS.**

#### **1.3.1 General.**

Identificar las concepciones que sobre el concepto electronegatividad poseen un grupo de estudiantes inscritos a un curso de teorías químicas IV, segundo semestre del año 2005, perteneciente al proyecto curricular para la formación de licenciados en química de la Universidad Pedagógica Nacional.

#### **1.3.2 Específicos.**

Diseñar un módulo didáctico sobre el concepto de electronegatividad el cual proporcione un referente para la identificación de las concepciones, que sobre el

concepto, poseen un grupo de estudiantes inscritos a un curso de teorías químicas IV.

Elaborar un instrumento de recolección de información el cual proporcione la información suficiente para la identificación de las concepciones que sobre el concepto de electronegatividad poseen un grupo de estudiantes.

#### **1.4 EVALUACION DEL PROBLEMA.**

La importancia de la investigación radica en:

- El diseño de un módulo didáctico sobre el concepto de electronegatividad.
- La identificación de las concepciones que sobre el concepto de electronegatividad poseen un grupo de estudiantes.
- Esta investigación esta enmarcada dentro de un enfoque constructivista en el cual los futuros docentes son formados con visión de investigadores en el aula.
- Las conclusiones obtenidas en esta investigación determinaran la viabilidad del desarrollo posterior de nuevas investigaciones que busquen mejorar los procesos de enseñanza aprendizaje teniendo en cuenta las concepciones identificadas sobre el concepto de electronegatividad.

La investigación como innovadora:

- Esta investigación se puede caracterizar como novedad debido a que indaga sobre las concepciones de un concepto importante en química y del cual no se posee referente de trabajos iguales o similares.

- Este trabajo es producto de una investigación literaria profunda sobre conceptos como: efecto de apantallamiento, carga nuclear efectiva, electronegatividad, densidad electrónica, potencial electrostático; poco explorados comúnmente en libros de texto usados en las aulas de clase.

### **1.5 LIMITACIONES DEL PROBLEMA.**

Esta investigación se desarrollara con un grupo de 31 estudiantes inscritos a un curso de Teorías Químicas IV, segundo semestre del año 2005, del proyecto curricular para la formación de licenciados en química de la Universidad Pedagógica Nacional.

La bibliografía manejada en este trabajo se basara en artículos de interés general y específico (de química) publicados en revistas científicas importantes como Journal of American Chemical Society, Journal Chemical Physics, Journal Physics Chemical, Journal Inorganic and Nuclear Chemistry, Journal of Chemical Education, Inorganic Chemistry, Science, Physical Review, L' actualité chimique, Chemical Review, entre otras; libros de temas específicos presentados por los principales autores de los temas de interés, libros de texto de fisicoquímica, química inorgánica, física entre otros y textos de química general mas usados.

El desarrollo práctico de este trabajo se realizó por medio de un instrumento de recolección de información el cual fue aplicado a los estudiantes, con la supervisión del investigador y del docente encargado.

Esta es una investigación exploratoria cuyos resultados están restringidos a un grupo limitado de estudiantes cuyas características sean similares a la población y muestra específica del trabajo. En el caso de otros estudiantes diferentes los resultados

pueden no ser útiles a la hora de describir las posibles concepciones que sobre el concepto de electronegatividad poseen.

## **1.6 SINTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.**

Esta es una investigación desarrollada en el ámbito de la educación la cual surge a partir de una serie de interrogantes acerca de las concepciones que poseen sobre el concepto de electronegatividad los estudiantes inscritos a un curso de teorías químicas IV, segundo semestre del año 2005, perteneciente al proyecto curricular para la formación de licenciados en química de la Universidad Pedagógica Nacional. La investigación esta constituida por dos partes que son; el diseño y elaboración de un módulo didáctico acerca del concepto de electronegatividad, el cual proporcionó un referente de conocimientos que fue utilizado en la segunda parte de la investigación en la cual se identificaron las concepciones que poseen los estudiantes sobre el concepto.

Con base en el módulo didáctico se diseño un instrumento de recolección de información el cual fue aplicado a un grupo de 31 estudiantes quienes se encontraban cursando el espacio académico teorías químicas IV. Los resultados obtenidos por medio del instrumento de información fueron analizados, tomando como punto de referencia el módulo didáctico, identificando las concepciones de los estudiantes sobre el concepto de electronegatividad.

Algunas de las concepciones observadas pueden ser resumidas como:

- Los estudiantes poseen un conocimiento del desarrollo histórico del concepto de electronegatividad muy ambiguo y poco concreto.

- Los estudiantes interpretan adecuadamente el concepto de electronegatividad pero no poseen argumentos que justifique su interpretación.
- Los estudiantes describen el concepto de electronegatividad superficialmente.
- Los estudiantes aplican el concepto de electronegatividad de forma mecánica.

Se puede concluir que el concepto de electronegatividad posee importancia dentro de los conocimientos básicos de quien se forma en el campo de la química y específicamente en la docencia, por tanto un adecuado proceso de enseñanza aprendizaje del concepto en el aula puede proveer de las suficientes herramientas conceptuales a quien se forma. Finalmente como producto de esta investigación se recomienda que en el desarrollo en el aula del proceso de enseñanza aprendizaje del concepto de electronegatividad se tengan en cuenta los siguientes ítems:

- La importancia del desarrollo histórico del concepto, al igual que los actores involucrados en el mismo.
- Una descripción del concepto de electronegatividad a partir de las cargas nucleares efectivas, al igual que la determinación de sus valores relativos por medio de estas.
- El conocimiento detallado de los diferentes métodos de determinación de los valores relativos de electronegatividad.
- Una aplicación adecuada y completa del concepto que no se base solamente en sus valores relativos.
- La relación adecuada entre las propiedades periódicas, específicamente partiendo de su origen común en la estructura y propiedades de los átomos.

## 1.7 JUSTIFICACION.

La enseñanza de la química en general ha sido siempre una fuente de investigación, son muchos los investigadores que han dedicado gran parte de su tiempo a buscar la herramientas, (teóricas, conceptuales, pedagógicas, didácticas entre otras) que permitan generar un ambiente de enseñanza aprendizaje adecuado para esta ciencia.

La importancia que posee el concepto de electronegatividad se ve reflejada en la versatilidad del mismo ya que esta asociado a muchas de las áreas de la química y es un componente de los referentes conceptuales básicos requeridos para el proceso de formación en esta ciencia. El conocimiento de las concepciones que los estudiantes poseen sobre el concepto es una herramienta que el docente puede utilizar a la hora de desarrollar estrategias pedagógicas y didácticas en el proceso de enseñanza aprendizaje del mismo y que finalmente se ven reflejadas en un aprendizaje significativo.

Esta investigación se ve justificada por el hecho de ser una herramienta para los docentes en formación y para quienes se desarrollan actualmente es este campo, e igualmente es un referente de los procesos de enseñanza aprendizaje que sobre el concepto de electronegatividad se han desarrollado.

El desarrollo del conocimiento en ciencias requiere de un conjunto amplio de actividades mentales, de diferentes grados de dificultad. Para el caso del concepto de electronegatividad una investigación sobre las concepciones que los estudiantes poseen del mismo, puede ser una fuente de información sobre la forma como los estudiantes desarrollan dichas actividades.

Finalmente es de anotar que los paradigmas que rigen actualmente la enseñanza aprendizaje sugieren que investigaciones como esta sean realizadas comúnmente con el fin de proporcionan herramientas para optimizar el desarrollo de la actividad docente en el aula.

## 2. MARCO TEORICO.

### 2.1 ANTECEDENTES.

Desde tiempos pasados el hombre se ha interrogado sobre el porque los átomos se unen formando compuestos, brillantemente en 1918 Gilbert Newton Lewis presento su modelo de enlace por pares de electrones y posteriormente con la introducción de la mecánica cuántica a la química, principalmente por Linus Carl Pauling, aparecieron teorías y modelos que explicaban el enlace químico, al mismo tiempo que se resolvían interrogantes sobre el enlace químico se desarrollaba el concepto de electronegatividad y precisamente los mayores aportes a este proceso los daban quienes trabajaban en el enlace químico, estos dos conceptos por tanto han estado siempre ligados a tal punto que en el caso de la electronegatividad fue Pauling quien dio la descripción actualmente más aceptada cuando desarrollaba sus trabajos sobre enlace químico y presento una de las primeras escalas de electronegatividades basada en datos principalmente empíricos, estos dos conceptos como demuestran estudios posteriores a Pauling son complementarios y su asociación permite en la mayoría de los casos su mejor comprensión.

En el ámbito de la educación tanto a nivel básica, media y superior la enseñanza del concepto de electronegatividad ha sido tema de investigación, en especial, en lo relacionado con su didáctica (Márquez I 1980, Forero R. 1993 , Yaret M. 1997), pero particularmente en lo referido a las concepciones que los estudiantes poseen sobre el concepto son pocas las investigaciones que se han desarrollado. La mayor parte de los trabajos documentados en los cuales se investiga sobre las concepciones acerca del concepto de electronegatividad están relacionadas con el enlace químico (Riboldi L. 2004, De Posada J. 1999) ó con otros temas que generalmente involucran la estructura atómica y molecular (Madoery R. 2003), pero como tal no se tiene referencia de una investigación en la que se indague sobre las concepciones



del concepto más allá que su aplicación para el entendimiento de otros referentes conceptuales.

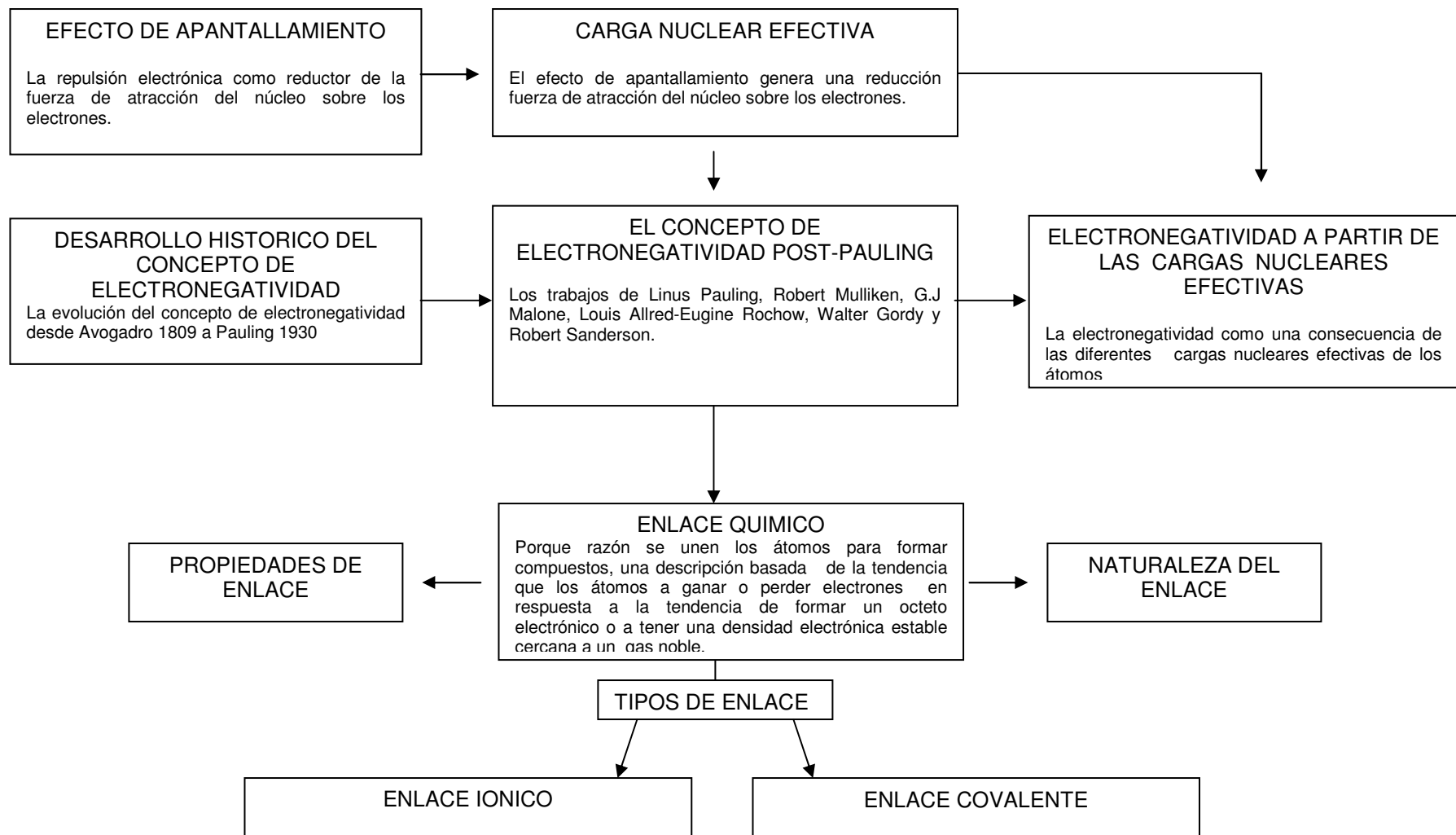
En general existe un amplio número de trabajos sobre el concepto de electronegatividad que abarcan desde su definición, la determinación de sus escalas de valores relativos y absolutos, su aplicación, entre otros. Algunos autores reconocidos por sus trabajos sobre el concepto con un enfoque hacia su enseñanza aprendizaje son: Robert Sanderson y su modelo de las densidades electrónicas para describir las electronegatividades y su aplicación a la interpretación del enlace químico (Sanderson R. 1952-1954,1988), Lawrence Sacks que incluyen las interacciones tipo Coulomb para describir aspectos importantes de la electronegatividad en el enlace químico como la existencia de los hidruros, sus energías de enlace, estructuras y distribuciones electrónicas bajo lo que el denomina un modelo Coulombico en el enlace químico (Sacks L.1986).

## **2.2 BASES TEORICAS.**

### **2.2.1 FUNDAMENTOS DISCIPLINARES.**

Como se indico antes parte de este trabajo de investigación era realizar una completa consulta bibliográfica sobre el concepto de electronegatividad y con esta información construir un módulo didáctico (Anexo 1) sobre el mismo. Dicho módulo compone el referente conceptual disciplinar en el que se fundamenta este trabajo; su contenido se describe a continuación y se interrelaciona en la figura a seguir.

- Descripción del desarrollo histórico del concepto.
- Descripción desarrollo del concepto Post-Pauling.
- Determinación de los valores relativos de electronegatividad por diferentes métodos.
- Descripción del concepto de electronegatividad y determinación de sus valores relativos a partir de las cargas nucleares efectivas.
- Aplicación del concepto, específicamente al enlace químico.



**Figura1.** Esquema temático del módulo didáctico sobre el concepto de electronegatividad.

### **2.2.2. FUNDAMENTOS DIDÁCTICOS. Aprendizaje por investigación.**

Debido a que este trabajo de investigación se desarrolla en el ámbito educativo se hace necesaria la introducción al mismo de un marco referencial didáctico en el cual se indiquen los fundamentos de esta índole en los que se basara.

Explícitamente la línea de investigación pedagógica manejada en el trabajo es el aprendizaje por investigación, desde el punto de vista de la investigación científica, a continuación se indican brevemente los elementos que describen este marco conceptual al igual que su aplicación al trabajo de investigación específico.

En general en el aprendizaje por investigación científica los estudiantes son quienes en forma activa desarrollan su proceso de aprendizaje en una manera autónoma pero bajo la guía del docente quien se desempeña como orientador y director del proceso, de esta forma el proceso de enseñanza aprendizaje involucra de una forma muy activa tanto al docente como al estudiante, entre los elementos mas importantes de esta corriente se tiene:

- El estudiante se desempeña como un investigador en el campo de la ciencia, particularmente la química, por lo tanto debe de realizar un trabajo como tal en busca de soluciones a problemas típicos de este campo de estudio, con esto se introducirá en el ámbito de la producción del conocimiento científico o para ser mas claro trabaja para descubrir a Lavioser, Borh Newton etc (Erazo 1997).
- La formulación de problemas de investigación es un elemento importante dentro del aprendizaje por investigación, por medio esto el estudiante se ubica dentro de un ambiente en el cual es participe activo del proceso de búsqueda de soluciones al problema específico, el estudiante tendrá el papel del científico que

- busca soluciones para los interrogantes sin respuesta, en este caso es el mismo estudiante quien posee los interrogantes y su investigación es para si mismo.
- En el aprendizaje por investigación el alumno desarrolla un conocimiento que esta expuesto a modificación parcial o total, al igual que a realizar extrapolaciones a temas diferentes al de trabajo específico.
- El estudiante como investigador deberá realizar su sistema de hipótesis que indiquen las ideas que ha desarrollado sobre su tema de investigación y que permitan generar debate y conclusiones en común frente a sus compañeros investigadores.
- El trabajo de laboratorio se hace importante a la hora de comprobar la viabilidad de las hipótesis que el estudiante como investigador se propone, sin olvidar que la experimentación no se concibe como simple procedimentalismo y que por el contrario le permite al estudiante modelar su investigación.
- El aprendizaje por investigación busca en el estudiante desarrollar la capacidad de “aprender a aprender” (Erazo 1990).
- El estudiante como investigador requerirá de la orientación del docente quien debe conocer lo que es en realidad la investigación científica para prevenir que caigan en una concepción ingenua de método científico (Erazo 1997), es decir impedir que caiga en una aplicación mecánica e inductiva del mismo.
- Existe una variante de aprendizaje por investigación en la cual a los estudiantes se le proporcionan los elementos conceptuales básicos para el desarrollo de su investigación esto puede estar acoplado una investigación bibliografica guiada por el docente en la cual el estudiante se documenta y luego discute con el docente los elementos de consulta.

### **2.2.3 FUNDAMENTOS EPISTEMOLOGICOS: Thomas Kuhn, Paradigmas científicos<sup>1</sup>.**

T.S. Kuhn, en su obra “La estructura de las revoluciones científicas” publicada en 1962, evidencia un nuevo problema en la imagen de las ciencias, pero ya no como

---

<sup>1</sup> Tomado de Erazo M, 1999.

producto del Empirismo-Inductivismo, sino como producto de una exagerada concepción racionalista originaria de un análisis normativo y lógico que no resiste a la comparación con las pruebas históricas y sociológicas.

Kuhn articula un desafío radical a la posición racionalista de Popper y posteriormente a Lakatos, utilizando la noción de “paradigma”. Un Paradigma, para Kuhn, hace referencia a: “relaciones científicas universalmente conocidas durante cierto tiempo, proporcionan modelos de problemas y soluciones a una comunidad científica” (Kuhn, T.S, 1975, p 15).

Para Kuhn una ciencia madura está regida por un solo paradigma que establece las normas, coordina y dirige la actividad de resolver problemas, dentro de periodos llamados “Ciencia Normal”. Para una nueva ciencia, a este estado le precede un estado inicial o de actividad precientífica. Durante la época de ciencia normal la fe en la teoría subyacente es tal que las “anomalías” no se consideran como refutaciones de las teorías, sino como “Enigmas” para resolver. Con el tiempo puede llegar a haber un número cada vez mayor de enigmas y anomalías para resolver como consecuencia de lo cual se erosiona la confianza que la comunidad tiene de su teoría y entra en un periodo de “Crisis”, los acuerdos que sobre el paradigma maneja la comunidad de investigadores, se establecen discusiones metafísicas y filosóficas y como consecuencia de todo este ambiente se producen intentos de articulación de estructuras teóricas alternativas.

Las “Crisis” se resuelven cuando surge un Paradigma completamente nuevo que va ganando la adhesión de un número de científicos cada vez mayor hasta que finalmente se abandona el paradigma antiguo. A este cambio discontinuista, Kuhn lo llama “Revolución Científica” (Kuhn, T., 75, p. 30). El nuevo paradigma guiará las investigaciones científicas normales hasta que choque con problemas y aparezca una nueva crisis seguida de una nueva revolución.

La presencia de revoluciones científicas y la lucha entre paradigmas para solucionar anomalías, es la alternativa al progreso acumulativo del enfoque inductivista como también al modelo simplista de Popper, de someter las teorías a comprobación con experimentos. Es de anotar que para Kuhn, el nuevo paradigma produce una transformación en cómo descubrimos el mundo, que entrañan cambios en el mismo mundo debido a que los individuos quedan capacitados para mirar nuevas y diferentes zonas de la misma realidad. El Nuevo Paradigma será tan diferente del viejo que en verdad llegan a ser incompatibles.

Los defensores de paradigmas rivales viven en mundos distintos debido a que cada paradigma considerará que el mundo está constituido por distintos tipos de cosas. (Kuhn, 1975.) Kuhn ve el cambio de paradigma como un cambio de conversión mística, ya que no existe en dicho cambio argumentos puramente lógicos que demuestren la superioridad de un paradigma sobre otro, que impulse a un cambio eminentemente racional; esto se debe a la intervención de otros factores en la explicación del cambio como la simplicidad, la conexión con una necesidad social, la capacidad de resolver determinado tipo de problemas, presiones políticas etc. Todo esto lleva a concluir que para Kuhn los paradigmas rivales son inconmensurables y por tanto es imposible dar una explicación racional del cambio científico.

Kuhn acepta la existencia de convenios acerca de los principios de comparación que se utilizan en todos los paradigmas. Estos principios de apelación son neutrales y hacen referencia a cualidades de una buena teoría en diferentes culturas y en diferentes épocas con un mayor éxito para resolver problemas, estos, principios se conocen como las cinco vías:

- Una teoría debería ser precisa dentro de su dominio, concordando con los re-

sultados de experimentos y observaciones existentes.

- Una teoría debería ser consistente consigo misma y con otras teorías en aspectos conexos de la naturaleza.
- Debería tener un alcance amplio extendiéndose más allá para lo que fue diseñada.
- Debería ser simple e introducir orden.
- Debería ser fructífera en nuevos descubrimientos investigativos.

Estos criterios convierten la elección de teorías en psicología de masas, ya que estas normas no son algoritmos del racionalismo lógico sino de un acuerdo de la comunidad científica, producto de factores externos. Como Kuhn lo acepta, no existen reglas para el descubrimiento, al igual que no acepta reglas universales para elegir teorías, diciendo que el científico debe ejercer más bien su juicio. Se admite la imposibilidad de traducción parcial del significado de los paradigmas para poderlos comparar, ofreciendo eso si una noción neutra en sus cinco vías ya enumeradas.

#### **2.2.4 FUNDAMENTOS PSICOLOGICOS: David Ausubel, aprendizaje significativo<sup>2</sup>.**

Para ésta teoría se ve como necesario, fuera de la toma de conciencia y la adaptación, para la reestructuración conceptual, el que se presente de modo organizado y explícito una nueva información que debe desequilibrar las estructuras existentes de los estudiantes.

Ausubel se centra en el aprendizaje producido en un contexto educativo, es decir en

---

<sup>2</sup> Tomado de Erazo M, 1999.

las situaciones de interiorización a través de la instrucción a partir de los conceptos previamente formados por el niño en su vida cotidiana y de forma idiosincrásica, que se alcanzan cuando una persona asimila un significado lógico dentro de su propia estructura cognitiva individual. Más importante que las etapas del desarrollo cognitivo Piagetiano se toma la forma de ver el mundo de los niños, es decir, se tiene en cuenta lo que el niño ya sabe, para generar a partir de ello, proposiciones básicas bien organizadas que generen nuevas proposiciones más ricas, complejas y aplicables a la vida, por tanto, que lo que es necesario para el aprendizaje es la cantidad y calidad de conceptos relevantes y estructuras proposicionales. (Novak, J.D., 1988).

Según la teoría del Aprendizaje Significativo, en las situaciones de aprendizaje es necesario disponer tanto de la estructura lógica de la disciplina como de la estructura psicológica del alumno en una misma área de conocimiento e ir introduciendo progresivas diferenciaciones en las ideas del alumno, acompañados ocasionalmente de algunas comparaciones y generalizaciones. El aprendizaje de conceptos procede generalmente de lo general a lo específico, siguiendo una vía descendente contraria al camino inductivo de los enfoques asociacionistas. Esta teoría admite que en el aprendizaje escolar o extra escolar puede haber aspectos memorísticos y conductuales, pero el aprendizaje memorístico va perdiendo importancia gradualmente a medida que se adquieren más conocimientos, ya que al aumentar estos se facilita el establecimiento de relaciones significativas con cualquier material.

El aprendizaje significativo será generalmente más eficaz que el aprendizaje memorístico, pues produce una retención más duradera de la información, facilita nuevos aprendizajes relacionados y puede producir cambios profundos a la manera del Cambio Conceptual planteado por Posner, que persisten más allá del olvido. Aprendizaje memorístico y significativo, no son una dicotomía sino un continuo lo que los hace no excluyentes. Para que se produzca aprendizaje significativo, además de un material con significado y una predisposición por parte del sujeto, es necesario que la estruc-



tura cognitiva del alumno contenga ideas o conceptos inclusores con los que pueda relacionar el nuevo material. Si estos inclusores no están presentes, el aprendizaje tiene lugar de modo repetitivo (memorístico).

Por tanto en los diseños de procesos de enseñanza-aprendizaje, aquellos materiales de mayor nivel de generalidad unidos con estructuras conceptuales de poder incluir permiten la incorporación de los nuevos conocimientos. Mientras un incluser lo podemos definir como parte de la estructura cognitiva de un individuo, o más precisamente como una serie de conceptos ínter relacionados con un significado, estos no actúan directamente sobre el nuevo material de enseñanza, sino que sólo lo hacen un pequeño grupo de ellos que Ausubel llama “Organizadores Previos” o conceptos relevantes que ayudan a afianzar la nueva información y transformar por diferenciación progresiva los conceptos inclusores.

Los organizadores también son reconocidos como puentes cognitivos que relacionan los inclusores con el material nuevo que se va a aprender «salvando el abismo que existe entre lo que el alumno ya sabe y lo que necesita saber antes de que aprenda con buenos resultados la tarea inmediata» (Ausubel y otros., 1986, p. 179). A medida que se da el Aprendizaje Significativo se producen y desarrollan conceptos inclusores y conceptos subordinados a él que se encuentran en un nivel más bajo de la jerarquía conceptual. A este proceso, Ausubel lo ha llamado “Diferenciación Progresiva”; el Aprendizaje Significativo se completa mediante la fase de “Reconciliación Integradora”, o sea, cuando un nuevo grupo de conceptos se perciben formando nuevas relaciones (Novak, J. D., 1988, p. 216).

En conclusión, según Ausubel (1986), un aprendizaje es significativo cuando el nuevo material puede relacionarse, de modo jerárquico, sustancial y no arbitrario con lo que el alumno ya sabe, es decir con una red organizada de conceptos (o estructura conceptual con poder inclusivo), siendo los conceptos aquellos elementos con los

que pensamos. Sin embargo aunque las ideas de Ausubel han mostrado un mayor poder explicativo y predictivo que otras teorías del aprendizaje conceptual y, que han permitido numerosas investigaciones en torno al problema de los errores conceptuales y esquemas alternativos, también tienen críticas.

### **2.3 DEFINICION DE TERMINOS BASICOS.**

*Carga nuclear:* Número de protones presentes en el núcleo de un átomo los cuales aportan cada uno con una carga de  $+1e$ , donde  $e$  es un electrón-voltio, igual a la diferencia de potencial necesaria para acelerar un electrón.

*Efecto de apantallamiento:* Acoplamiento de los campos electromagnéticos de los electrones que da como consecuencia un efecto neto de repulsión entre estos reduciendo la fuerza de atracción por parte del núcleo sobre los electrones en especial sobre los electrones más externos o más alejados del núcleo.

*Reglas de Slater:* Una serie de parámetros con los que se puede cuantificar el efecto de apantallamiento de los electrones al núcleo determinando la constante de apantallamiento.

*Constantes de apantallamiento:* Un valor aproximado del efecto de apantallamiento de los electrones al núcleo, es único para cada elemento en su estado fundamental y puede variar para cada elemento al hacer parte de un compuesto.

*Carga nuclear efectiva:* Un valor aproximado de la carga nuclear real que atrae los electrones de un determinado nivel de energía, este valor es diferente de la carga nuclear presente en el núcleo dada por el número de protones. Esto es consecuencia del efecto de apantallamiento.

*Naturaleza del enlace químico:* Específicamente da razón de porque los átomos se unen formando un compuesto por medio de un enlace químico, es de anotar que esta descripción se puede realizar por medio de un modelo o de una teoría principalmente, las implicaciones de la formación de un enlace químico hace

referencia a las consecuencias asociadas a este hecho, los tipos de enlace, las propiedades de enlace, la reactividad química entre otros.

*Tipos de enlace:* Describe los tipos principales de enlace químico característicos de los compuestos, covalente, covalente coordinado, iónico, metálico, entre otros

*Propiedades de enlace:* describe las propiedades de los compuestos que son consecuencia de su formación por medio de un enlace químico y que están directamente vinculados al mismo, polaridad, energía de enlace, fuerza de enlace, orden de enlace, longitud de enlace entre otros.

*Electronegatividad:* según Pauling (1930 ed 1960) la capacidad o poder de un átomo en una molécula de atraer electrones hacia si mismo, en este trabajo de investigación dicha capacidad se describe a partir del núcleo (capacidad de atracción del mismo sobre los electrones) desde el punto de vista de Louis Allred – Eugene Rochow.

*Densidades electrónicas:* en este trabajo de investigación las densidades electrónicas se comprenden desde el punto de vista de Robert Sanderson, número de electrones sobre radio covalente del átomo.

*Cociente de estabilidad:* Relación matemática entre la densidad electrónica de un átomo en estado fundamental o en un compuesto sobre la densidad electrónica de un gas inerte o hipotético.

*Gas inerte hipotético:* según Sanderson (1952-54, 1988) cada elemento adquiere máxima estabilidad de sus interacciones electromagnéticas cuando adquiere la densidad electrónica de un gas noble, para los elementos que se encuentran lejos al grupo 18 de la tabla (gases nobles o inertes), por ejemplo los elementos de transición, este gas noble no tiene existencia real y se denomina hipotético.

*Potencial electroestático:* como todo potencial hace referencia a una fuerza por distancia (trabajo o energía) requerido para remover un electrón o desplazarlo de su posición inicial.

## 2.4 HIPOTESIS DE INVESTIGACIÓN.

Los estudiantes inscritos a un curso de teorías químicas IV, segundo semestre del año 2005, perteneciente al proyecto curricular para la formación de licenciados en química de la Universidad Pedagógica Nacional, poseen concepciones sobre el concepto de electronegatividad que pueden ser descritas por las siguientes afirmaciones:

1. Los estudiantes desconocen el desarrollo histórico del concepto de electronegatividad, consideran que este surgió gracias al desarrollo de las investigaciones de Linus Carl Pauling.
2. Los estudiantes interpretan la electronegatividad como la capacidad que posee un átomo para atraer electrones de otros átomos, pero desconocen las razones por las cuales los átomos poseen dicha capacidad.
3. Identifican los elementos electronegativos y electropositivos pero ignoran las razones específicas que sustentan sus diferencias de electronegatividad.
4. Los estudiantes describen el concepto de electronegatividad como la tendencia de los elementos por adquirir una configuración electrónica tipo gas noble.
5. Los estudiantes desconocen el origen de las escalas de valores relativos de electronegatividad.
6. Aplican el concepto de forma mecánica y utilizando principalmente sus valores relativos.
7. Relacionan la electronegatividad con las demás propiedades periódicas basándose en la forma como estas propiedades varían a través de la tabla periódica.

8. Los estudiantes interpretan, describen y aplican el concepto de electronegatividad sin involucrar las cargas nucleares efectivas de los átomos.

### **3. PERSONAS QUE PARTICIPARON EN EL PROCESO.**

Henry Isaac Castro V.

Estudiante X Semestre

Universidad Pedagógica Nacional

Departamento de química

Desarrolló el trabajo de investigación.

Manuel Antonio Erazo Parga

Docente

Universidad Pedagógica Nacional

Departamento de química

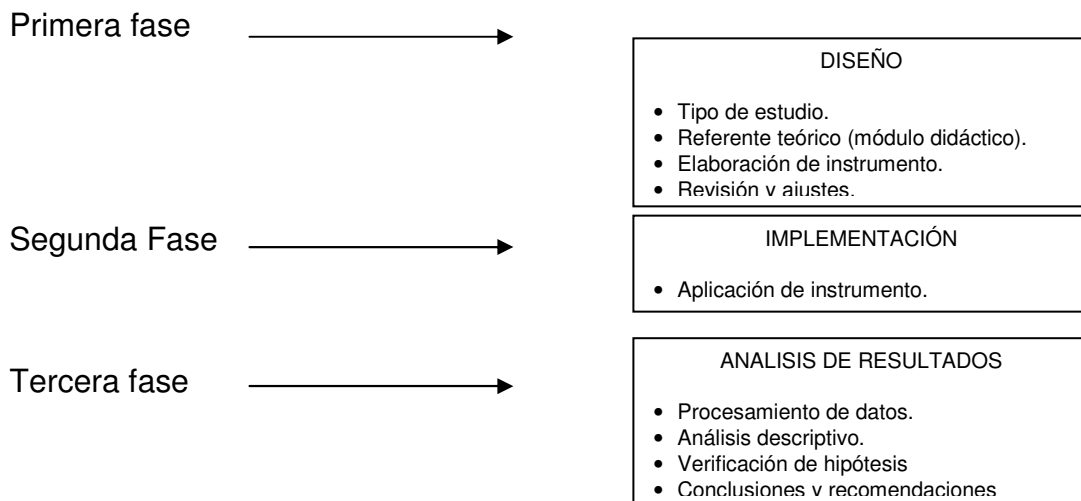
Dirigió el trabajo de investigación

## 4. DISEÑO METODOLÓGICO.

Este trabajo de investigación esta orientado bajo un enfoque del aprendizaje por investigación, teniendo en cuenta los principios epistemológicos y metodológicos que fundamentan el desarrollo y operativización de las hipótesis planteadas.

El desarrollo metodológico de la investigación se resume en el siguiente esquema:

**Figura 2.** Diagrama diseño metodológico.



### 4.1 Población y muestra.

Una población ó universo es un conjunto amplio de cosas, animales, personas entre otros, los cuales están directa o indirectamente involucrados en una investigación o simplemente son objeto de investigación, debido a que en la mayoría de los casos la

población es muy amplia en un trabajo de investigación se hace necesario tomar lo que denomina una muestra, la cual consta de una parte finita de la población esta debe ser representativa de la misma y sobre ella se desarrolla activamente el trabajo, al mismo tiempo la muestra debe permitir al investigador realizar extrapolaciones de los resultados obtenidos a toda la población siguiendo un conjunto de elementos estadísticos y teniendo en cuenta que las conclusiones generalizadas son de tipo probabilísticas (Briones 1985).

De acuerdo con lo antes indicado se hace necesario describir la población o universo al igual que la muestra con los cuales se desarrolló este trabajo de investigación. La población o universo específica(o) son los estudiantes universitarios del área de química específicamente los estudiantes de los proyectos o programas curriculares (de pregrado) para la formación de docentes en el área mencionada. Este grupo está limitado como se indicó antes a los futuros docentes, esto es debido esencialmente a dos razones: la primera es que quien desarrolla el proyecto hace parte de este grupo de futuros profesionales y conoce el ámbito en el que desarrolla el trabajo y la segunda a la importancia que tiene el tema de investigación desde el punto de vista disciplinar, pedagógico y didáctico.

Conocida la población se debe seleccionar la muestra, en este caso un grupo de 31 estudiantes de la Universidad Pedagógica Nacional pertenecientes al departamento de Química e inscritos al Proyecto Curricular para la formación de licenciados en Química, los cuales estén cursando el espacio académico de Teorías Químicas IV. Este grupo es representativo de la población por varias razones: en primer lugar se encuentran en la etapa final de su ciclo de fundamentación lo que indica que han desarrollado ampliamente, en suficientes espacios académicos, el concepto de electronegatividad. Otro aspecto importante es la trascendencia que puede tener la investigación para la continuación de su proceso de formación.



## **4.2. Recolección, observación y técnica de análisis de datos.**

Se diseñó un instrumento de recolección de información (Anexo 2.) que buscaba las concepciones que poseen los estudiantes sobre el concepto de electronegatividad. El instrumento consta de 18 preguntas abiertas y cerradas en las que se incluyen ítems relacionados con:

1. Desarrollo histórico del concepto de electronegatividad.
2. Interpretación del concepto de electronegatividad.
3. Descripción del concepto de electronegatividad.
4. Aplicación del concepto, específicamente al enlace químico.
5. Relación del concepto con las propiedades periódicas.

El instrumento consta de preguntas de análisis con gráficos de apoyo, preguntas de selección múltiple y selección de figuras. Las preguntas relacionadas con la aplicación del concepto se elaboraron enfocadas al enlace químico, aclarando que esto no es único referente conceptual relacionado con el concepto de electronegatividad.

El instrumento fue aplicado a un grupo de 31 estudiantes quienes están cursando el espacio académico Teorías Químicas IV, perteneciente al proyecto curricular para la formación de licenciados en química de la Universidad Pedagógica Nacional, bajo la coordinación del docente encargado del espacio académico.

Las respuestas de los estudiantes son clasificadas en cinco categorías a las cuales se les asignó un puntaje, que va de 0 a 5, dependiendo del grado de complejidad de las mismas. Las categorías de clasificación para las respuestas son las siguientes:

- a. Categorías de clasificación para las respuestas del instrumento de recolección de información, relacionadas con el desarrollo histórico del concepto de electronegatividad.

**Tabla 1.** Categorías de clasificación de respuestas relacionada con el desarrollo histórico del concepto de electronegatividad.

Puntaje	Descripción
5	Relaciona el desarrollo histórico del concepto con la historia de la química en general.
4	Considera que el concepto de electronegatividad nace con los interrogantes sobre reactividad y enlace químico.
3	Considera que el concepto surge con el desarrollo de la periodicidad química.
2	Considera que con el surgimiento de los modelos atómicos es el punto de partida del concepto.
1	Relaciona el concepto de electronegatividad con los trabajos sobre enlace químico desarrollados por Linus Carl Pauling.
0	No sabe/ No responde.

- b. Categorías de clasificación para las respuestas del instrumento de recolección de información, relacionadas con la interpretación, manejo descriptivo, aplicación y relación con la periodicidad química, del concepto de electronegatividad.

**Tabla 2.** Categoría de clasificación de respuestas relacionadas con la interpretación, manejo descriptivo, aplicación y relación con la periodicidad química, del concepto de electronegatividad.

Puntaje	Descripción
5	Responde correctamente a los interrogantes; Interpreta, explica, relaciona ó aplica el concepto de electronegatividad desde las cargas nucleares efectivas.
4	Responde correctamente a los interrogantes; Interpreta, explica, relaciona ó aplica el concepto de electronegatividad adecuadamente, pero sin involucrar las cargas nucleares efectivas.
3	Sus respuestas son parcialmente correctas; no poseen argumentos ó estos no son claros.
2	Sus respuestas a los interrogantes son ambiguas.
1	Responde incorrectamente a los interrogantes.
0	No sabe/ No responde.

## 5. RESULTADOS.

A continuación se presenta los resultados obtenidos en la investigación, estos se encuentran divididos de acuerdo a las concepciones de los estudiantes relacionadas con:

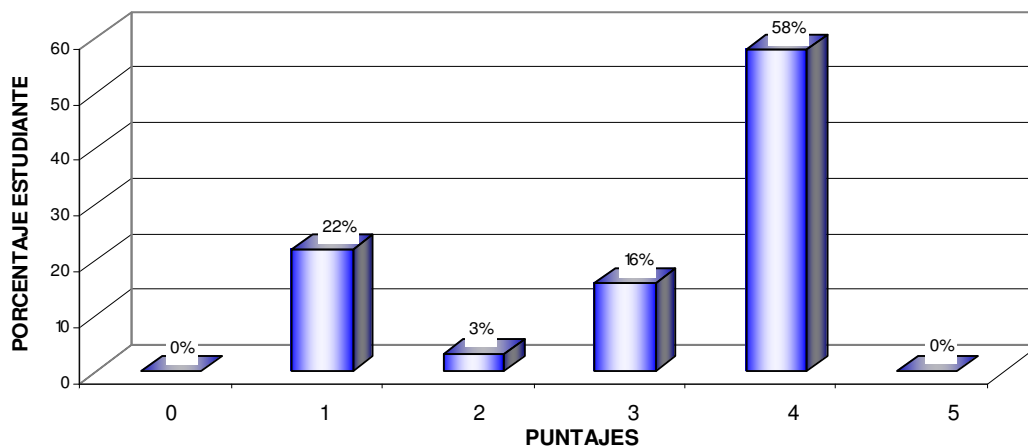
- Desarrollo histórico del concepto.
- Interpretación del concepto.
- Manejo descriptivo del concepto.
- Aplicación del concepto.
- Relación del concepto con la periodicidad química.

La información obtenida fue clasificada por medio de las categorías indicadas en la sección 3.2.

### Desarrollo histórico del concepto de electronegatividad.

Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	0	7	1	5	18	0
% Estudiantes	0	22	3	16	58	0

DESARROLLO HISTÓRICO DEL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD



**Gráfica 1.** Puntajes obtenidos en las respuestas relacionadas con el desarrollo histórico del concepto de electronegatividad.

## Interpretación del concepto de electronegatividad.

Los resultados obtenidos en el instrumento de recolección de información, relacionados con la interpretación del concepto por parte de los estudiantes, se indican a continuación. Estos están divididos de acuerdo a las preguntas del instrumento en las que se indaga sobre las concepciones antes indicadas:

Pregunta 3

Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	1	1	3	12	7	7
% Estudiantes	3	3	9	40	22	22

Pregunta 13

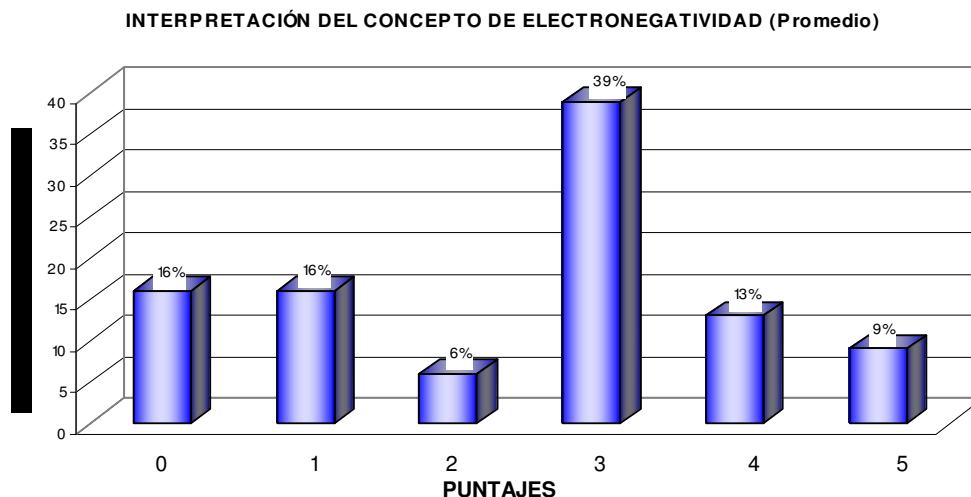
Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	8	3	2	17	1	0
% Estudiantes	26	9	6	55	3	0

Pregunta 15

Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	6	11	1	9	3	1
% Estudiantes	19	35	3	29	9	3

Promedio

Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	5	5	2	12	4	3
% Estudiantes	16	16	6	39	13	9



**Grafica 2.** Puntajes obtenidos en las respuestas relacionadas con la interpretación del concepto de electronegatividad.

## Manejo descriptivo del concepto de electronegatividad.

Los resultados obtenidos en el instrumento de recolección de información, relacionados con el manejo descriptivo del concepto por parte de los estudiantes, se indican a continuación. Estos están divididos de acuerdo a las preguntas del instrumento en las que se indaga sobre dichas concepciones:

### Pregunta 7

Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	7	4	1	4	14	1
% Estudiantes	22	13	3	14	45	3

### Pregunta 8

Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	4	18	0	3	6	0
% Estudiantes	13	58	0	9	19	0

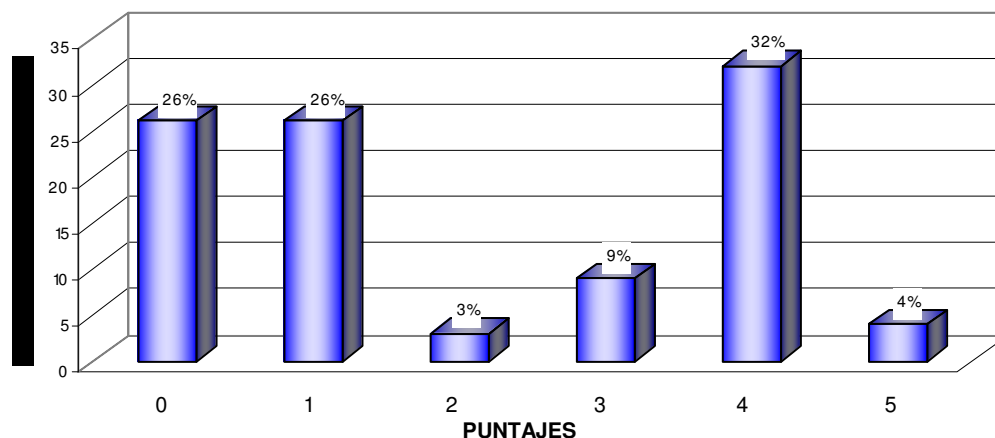
### Pregunta 14

Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	15	7	2	2	5	0
% Estudiantes	48	22	6	6	16	0

### Promedio

Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	8	8	1	3	10	1
% Estudiantes	26	26	3	9	32	4

MANEJO DESCRIPTIVO DEL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD  
(Promedio)



**Grafica 3.** Puntajes obtenidos en las respuestas relacionadas con el manejo descriptivo del concepto de electronegatividad.

## Aplicación del concepto de electronegatividad.

Los resultados obtenidos en el instrumento de recolección de información, relacionados con la aplicación del concepto por parte de los estudiantes, se indican a continuación. Estos están divididos de acuerdo a las preguntas del instrumento en las que se indaga sobre las concepciones antes indicadas:

Pregunta 5

Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	5	1	0	7	13	5
% Estudiantes	16	3	0	23	42	16

Pregunta 6

Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	4	9	1	9	7	1
% Estudiantes	13	29	3	29	22	3

Pregunta 9

Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	4	10	0	2	15	0
% Estudiantes	13	32	0	6	49	0

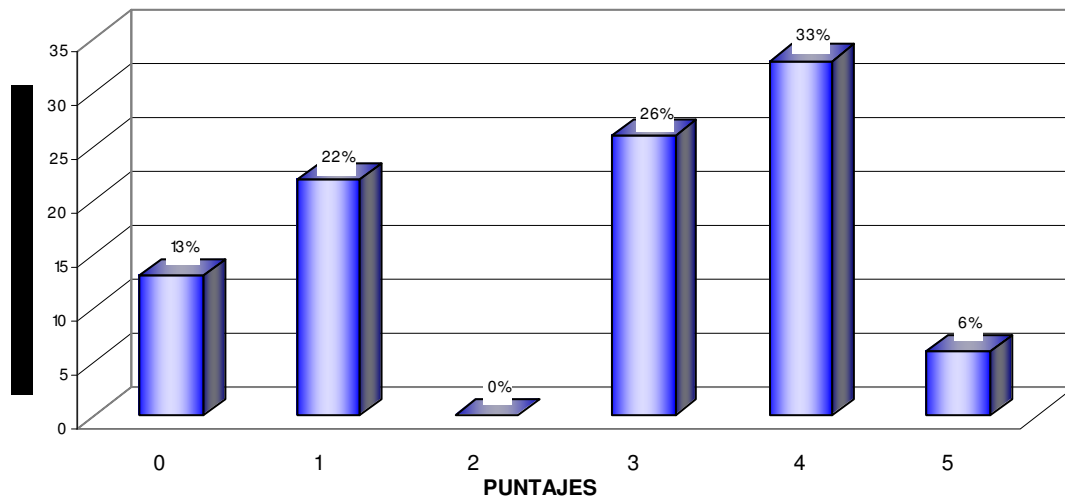
Pregunta 16

Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	5	10	0	15	1	0
% Estudiantes	16	32	0	49	3	0

Promedio

Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	4	7	0	8	10	2
% Estudiantes	13	22	0	26	33	6

APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD (Promedio)



**Grafica 4.** Puntajes obtenidos en las respuestas relacionadas con la aplicación del concepto de electronegatividad.

## Relación del concepto de electronegatividad con la periodicidad química.

Los resultados obtenidos en el instrumento de recolección de información, asociados con la relación del concepto con la periodicidad química por parte de los estudiantes, se indican a continuación. Estos están divididos de acuerdo a las preguntas del instrumento en las que se indaga sobre las concepciones antes indicadas:

### Pregunta 12

Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	3	3	1	17	7	0
% Estudiantes	9	9	3	56	22	0

### Pregunta 17

Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	4	4	2	17	4	0
% Estudiantes	13	13	5	56	13	0

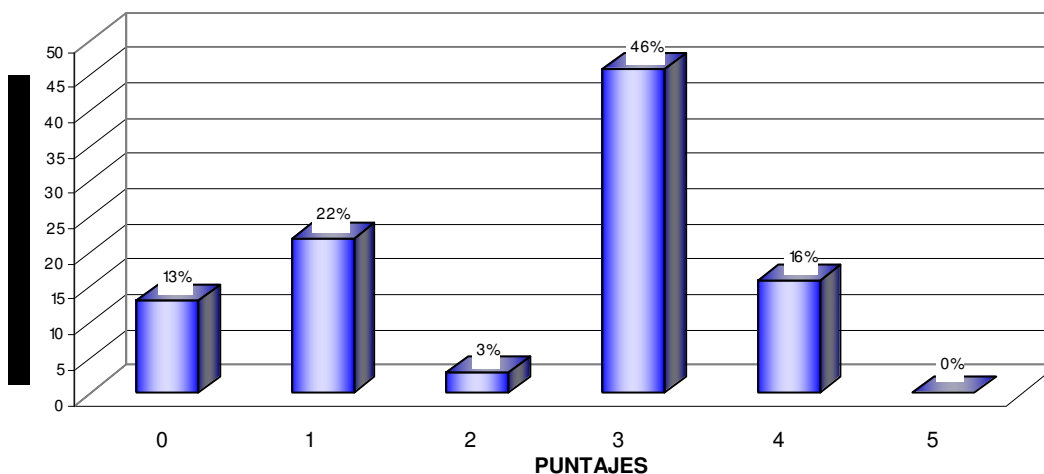
### Pregunta 18

Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	7	14	2	4	4	0
% Estudiantes	22	45	6	13	13	0

### Promedio

Puntaje	0	1	2	3	4	5
N° Estudiantes	4	7	1	14	5	0
% Estudiantes	13	22	3	46	16	0

RELACIÓN DEL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD CON LA PERIODICIDAD QUÍMICA (Promedio)



**Grafica 5.** Puntajes obtenidos en las respuestas asociadas con la relación del concepto de electronegatividad con la periodicidad química.

## 6. ANALISIS DE RESULTADOS.

¿Cuales son las concepciones más significativas que sobre el concepto de electronegatividad poseen Los estudiantes inscritos a un curso de teorías químicas IV, segundo semestre del año 2005, perteneciente al proyecto curricular para la formación de licenciados en química de la Universidad Pedagógica Nacional? Este es el interrogante resuelto por medio de esta investigación, con la aplicación del instrumento de recolección de información y el tratamiento de los datos obtenidos, a través del mismo fue posible realizar el análisis respectivo para la información recolectada.

Como punto de partida se analizara la información relacionada con las concepciones que los estudiantes poseen acerca del **desarrollo histórico del concepto de electronegatividad**. Un 58% de los estudiantes relaciona el surgimiento y desarrollo del concepto de electronegatividad con la historia del enlace químico y la reactividad química, aunque desconocen cuales son los científicos que hicieron parte del desarrollo histórico de estos últimos. Es probable que el desarrollo en el aula de los aspectos históricos del concepto de electronegatividad se hayan enfocado al estudio del enlace químico, lo que puede explicar la relación indicada por lo estudiantes en el instrumento de recolección de información. Otro factor que puede incidir en las concepciones de los estudiantes acerca del desarrollo histórico del concepto de electronegatividad puede ser consecuencia de la relación entre la electronegatividad, Linus Carl Pauling y el enlace químico, precisamente el segundo porcentaje más alto de estudiantes cuyas concepciones posee un enfoque similar, indica que la electronegatividad surge con los trabajos sobre enlace químico desarrollados por Linus Carl Pauling. Esta relación electronegatividad, Linus Carl Pauling y enlace químico, justifica finalmente las concepciones generales de la mayoría de estudiantes sobre el concepto de electronegatividad que pueden ser resumidas como: “el concepto de electronegatividad surge con los estudios sobre enlace



químico, evoluciona con estos y finalmente es mejorado y llevado a su forma actual con los trabajos de Linus Carl Pauling”.

Es de anotar que el tercer porcentaje más alto de estudiantes con concepciones similares sobre el desarrollo histórico del concepto de electronegatividad, considera que el concepto de electronegatividad surge con los trabajos sobre periodicidad química, y reconocen el papel de Lothar Meyer al introducir esta propiedad al sistema periódico. En general el concepto de electronegatividad se da a conocer a los estudiantes con el desarrollo del referente conceptual Periodicidad Química, es posible que para este 16% de estudiantes que relacionan la electronegatividad con la periodicidad química este haya sido el principal marco conceptual en el que hayan estudiado el concepto.

En general un 83% de los estudiantes *interpretan* correctamente la electronegatividad como la capacidad de un átomo en una molécula por atraer electrones de otros átomos (Pauling 1932), solo un 3% consideran que la electronegatividad no posee relación con la antes indicado.

Un 39% de los estudiantes *interpretan* la electronegatividad como la tendencia que poseen los átomos de los elementos por adquirir la configuración electrónica de un gas noble, en sus respuestas los estudiantes no justifican, porque para ellos, los elementos tienden a adquirir un octeto electrónico, simplemente relacionan la electronegatividad con la tendencia de los átomos por ganar o perder electrones, y específicamente los electrones de valencia, más no poseen un conocimiento acerca de los posibles razones por las cuales un átomo de un elemento posee la capacidad de atraer electrones de otros átomos y viceversa.

Un componente importante del módulo didáctico (Anexo 1.) en el que se fundamenta esta investigación se basa en la descripción e interpretación del concepto de

electronegatividad a partir de las cargas nucleares efectivas de los átomos, es por eso que como parte del instrumento de recolección de información algunos de los ítems buscaban si los estudiantes **describen e interpretan** el concepto de electronegatividad desde este referente, los resultados obtenidos indican que 9% de los estudiantes consideran que la electronegatividad es consecuencia de la atracción electrostática, por parte de la carga nuclear efectiva de un átomo, sobre los electrones de otros átomos. Es de anotar que, aunque un porcentaje significativo de estudiantes al parecer interpretan el concepto a partir de las cargas nucleares efectivas, el 0% de los estudiantes conocen el significado del efecto de apantallamiento, los métodos para obtener valores semicuantitativos de la constante de apantallamiento y de las cargas nucleares efectivas. Por tanto es posible que este 9% de estudiantes conciban la electronegatividad simplemente como producto de una atracción electrostática.

A la hora de **describir** el concepto de electronegatividad se puede observar que los estudiantes relacionan estrechamente esta propiedad con la tabla periódica y sus argumentos sobre porque los elementos poseen diferentes electronegatividades se fundamente en indicar las posiciones que poseen en el sistema periódico, más no tienen una concepción del concepto que les permita describir adecuadamente esta variación, es decir, para la mayoría de los estudiantes (45%) las electronegatividades de los elementos depende de el grupo y periodo de la tabla periódica en el que se encuentren ubicados, por ejemplo los elementos electropositivos serán los que se encuentran ubicados en lo periodos finales (5,6,7) y los grupos iniciales (1,2,); argumentos como, “ el francio es el elemento menos electronegativo del sistema periódico debido a que se ubica al final del Grupo 1 en el periodo 7 de la tabla periódica”, justifican lo antes indicado.

Como parte de las concepciones de los estudiantes se encuentra que un 58% de estos **describen e interpretan** la electronegatividad como si fuera una propiedad invariable, para estos estudiantes le electronegatividad de un elemento es fija sin

importar si se encuentre en su estado fundamental, formando un compuesto, como cation ó anion, ó en diferentes ambientes electrónicos; además los argumentos que fundamentan sus respuestas se pueden resumir como, “ a un elemento se le asigna un valor de electronegatividad que es producto de un estudio riguroso y que por tanto es fijo”. Por otro lado un 20% considera que la electronegatividad de un elemento varia dependiendo de los elementos con lo que se encuentra enlazado. Ninguno de los estudiantes, para los cuales la electronegatividad es una propiedad variable, considera que dicha variación sea consecuencia de un aumento o disminución de las cargas nucleares efectivas de átomos.

Como parte del instrumento de recolección de información algunos interrogantes buscaban identificar las representaciones mentales que los estudiantes poseen del concepto de electronegatividad, enfocadas principalmente a las densidades electrónicas, por ello se les presento una situación problema en la que deberían seleccionar la representación más adecuada de una molécula formada por dos elementos con una marcada diferencia de electronegatividad (Anexo 2 pregunta 15); el 39% de los estudiantes identifico correctamente la representación, pero solo el 9% argumento que el elemento más electronegativo tenia la mayor densidad electrónica y el más electropositivo tenia la menor densidad electrónica. Un aspecto importante es que solo el 3% (1 estudiante de 31) argumento que el elemento con la mayor densidad electrónica era aquel cuyo núcleo atómico tenia la suficiente fuerza de atracción sobre los electrones del otro elemento.

Un segundo interrogante que buscaba las representaciones mentales de los estudiantes en relación al concepto de electronegatividad consiste en la representación de tres haluros de H (Anexo 2 Pregunta 14); el 16% de los estudiantes identifico las diferencias en las densidades electrónicas de las moléculas, argumentando que el elemento más electronegativo tendría la mayor densidad electrónica. Es de anotar que 0% de los estudiantes relaciono las densidades

electrónicas con el concepto de electronegatividad descrito a partir de las cargas nucleares efectivas.

En general se observa que los estudiantes no poseen una representación mental adecuada de los sistemas en los que está involucrado el concepto de electronegatividad, principalmente los que están relacionados con el enlace químico y las densidades electrónicas de las moléculas, en promedio un 45% no concibe la electronegatividad como factor importante a la hora de representar situaciones relacionadas con el mismo.

Una parte importante de las concepciones que poseen los estudiantes sobre el concepto de electronegatividad está relacionada con la **aplicación** del mismo; el concepto posee una gran versatilidad y puede ser aplicado en diferentes áreas de la química, específicamente en esta investigación, como puede ser observado en el módulo didáctico, se buscó las concepciones que los estudiantes tienen del concepto al aplicarlo en la descripción del enlace químico. Algunos de los cuestionamientos del instrumento de recolección de información buscaban relacionar el concepto de electronegatividad con los tipos de enlace químico y la polaridad de enlace; en general se observó que en promedio un 50% de los estudiantes aplican el concepto de electronegatividad de forma mecánica, utilizando solamente los valores relativos de esta propiedad. Algunas de las respuestas más comunes se basaban en la diferencia de electronegatividad de dos átomos para describir si el tipo de enlace químico, que formaban estos, era iónico, covalente polar ó covalente puro, dichas respuestas carecían de argumentos acerca del porque tales diferencias de electronegatividad se relacionaban con el tipo de enlace. Un aspecto interesante que se observó en la recolección de información es que el 22% de los estudiantes posee dificultades para diferenciar entre un enlace covalente polar y enlace covalente puro, algunos estudiantes consideran que no existe diferencia entre estos tipos de enlace y

otros los confunden a tal punto que describen el enlace covalente polar como covalente puro y viceversa.

Como se indico antes la aplicación que los estudiantes dan al concepto de electronegatividad se basa en la utilización de sus escalas numéricas, un aspecto a resaltar es que los estudiantes desconocen el origen de estas escalas de valores, solo el 6% (2 de 31) de los estudiantes relacionan a Linus Carl Pauling con la escala termoquímica de electronegatividades, pero desconocen los demas autores, y sus correspondientes métodos, que han evaluado esta propiedad al igual que su escalas de valores.

Aunque los estudiantes interpretan y describen el concepto de electronegatividad como “la capacidad o poder de un átomo en una molécula para atraer electrones de otros átomos”, en el momento de aplicar el concepto su interpretación del mismo no se hace evidente, es decir, en el caso específico de los tipos y propiedades de enlace químico los estudiantes aplican el concepto de electronegatividad dejando a un lado el hecho de que estas propiedades poseen un aspecto importante que esta relacionado con el desplazamiento de nubes electrónicas entre átomos y que puede ser descrito e interpretado desde el concepto de electronegatividad.

Dentro del desarrollo del programa académico para los estudiantes que pertenecen al proyecto curricular para la formación de licenciados en química, se encuentra el referente conceptual periodicidad química, que como se indico antes es el espacio en el cual, en algunos casos, los estudiantes conocen por primera vez el concepto de electronegatividad. Como parte de esta investigación se interrogo acerca de las concepciones que los estudiantes poseen sobre **la relación entre la electronegatividad y las propiedades periódicas**. En general se observo que la mayoría de los estudiantes relaciona las propiedades periódicas con la electronegatividad en forma adecuada, identifican la variación de estas en la tabla periódica y así mismo describen su relación con la electronegatividad, es decir, por

ejemplo si un elemento es electronegativo, su energía de ionización es alta, sus átomos son pequeños, y su posición en la tabla periódica es en los periodos iniciales (1,2, 3) y los grupos finales (15, 16, 17). Es de anotar que los estudiantes desconocen las razones por las cuales las propiedades periódicas poseen relación, Allred-Rochow 1958 indican en relación con la electronegatividad, “si las propiedades periódicas se pueden describir a partir de la estructura atómica estas poseen como tal un origen común y están estrechamente relacionada”, por ejemplo las cargas nucleares efectivas de los átomos permiten describir las propiedades periódicas, al igual que su variación en la tabla, y por medio de estas podemos relacionarlas desde un origen común. Como se indico antes se observa que los estudiantes carecen de un referente conceptual en el que se relacione las propiedades periódicas a partir de un origen común por medio del cual puedan interpretar y describir su relación.

## **7. CONCLUSIONES.**

Por medio de esta investigación se logró identificar las concepciones más significativas que sobre el concepto de electronegatividad poseen los estudiantes inscritos a un curso de teorías químicas IV, segundo semestre del año 2005, perteneciente al proyecto curricular para la formación de licenciados en química de la Universidad Pedagógica Nacional, estas se pueden resumir como:

### **DESARROLLO HISTÓRICO DEL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD.**

Se observa que los estudiantes conciben el desarrollo histórico del concepto de electronegatividad como un componente más de la historia de la química, en general, y de la historia del enlace químico, en particular, pero como tal no poseen un referente específico de la forma como este concepto evolucionó a través del tiempo y de quienes fueron sus actores.

Los estudiantes relacionan el origen e historia del concepto de electronegatividad con los trabajos sobre enlace químico desarrollados por Linus Carl Pauling a quien consideran como el principal científico que ha realizado aportes a la evolución del mismo.

En relación a la hipótesis planteada se observa una parcial concordancia; aunque se observo que en realidad los estudiantes poseen una firme concepción en la que relacionan el desarrollo histórico del concepto de electronegatividad con Linus Carl Pauling, el desconocimiento de dicho desarrollo histórico no es total ya que poseen

algunas ideas de la evolución del concepto, específicamente su relación con la historia del enlace químico y la periodicidad química.

## **INTERPRETACIÓN DEL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD.**

La concepción que los estudiantes poseen sobre ¿que es la electronegatividad? puede ser resumida por la definición dada por Linus Carl Pauling en 1932, los estudiantes consideran la electronegatividad como “la capacidad o poder de un átomo, en una molécula, para atraer electrones de otros átomos”. En general aunque los estudiantes conciben correctamente el concepto de electronegatividad, sus argumentos sobre las razones por las cuales un átomo puede atraer electrones de otros átomos son demasiado simplistas y están enfocados a la tendencia de estos por cumplir la regla del octeto. Un porcentaje muy bajo de estudiantes (1 a 2 de 31) interpreta el concepto de electronegatividad a partir de las cargas nucleares efectivas.

Los estudiantes poseen una concepción de la electronegatividad como una propiedad invariable y argumentan sus concepciones basados en que para cada elemento existe un valor fijo e invariable de electronegatividad que ha sido determinado por un trabajo empírico riguroso. Entre otros factores, debido a que los estudiantes no interpretan la electronegatividad a partir de las cargas nucleares efectivas, no poseen la capacidad de analizar si un elemento presenta variación en su electronegatividad cuando gana o pierde, parcial o totalmente, un electrón.

Las concepciones observadas en contraste con las hipótesis planteadas son concordantes, los estudiantes interpretan adecuadamente el concepto pero carecen de argumentos que justifiquen su interpretación, en otras palabras, los estudiantes desconocen cuales son los procesos o las propiedades, a nivel atómico, que



permiten que un átomo de un elemento electronegativo pueda atraer electrones de otros átomos considerados electropositivos.

## **DESCRIPCIÓN DEL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD.**

Es evidente que los estudiantes poseen una marcada tendencia por describir la electronegatividad de un elemento por medio de la posición que estos tienen en la tabla periódica, sin involucrar ningún otro factor importante que permita comprender más a fondo esta propiedad para un elemento dado. Por otro parte, los estudiantes poseen un adecuado manejo de la forma como la electronegatividad varía en el sistema periódico.

La interpretación que los estudiantes poseen sobre el concepto de electronegatividad influye marcadamente en la forma como lo describen, por ejemplo los estudiantes consideran la electronegatividad como una tendencia de un elemento por tener las propiedades electrónicas de un gas noble, y esto finalmente se reflejó en la forma como describen el concepto.

Se observa que las representaciones mentales realizadas por estudiantes en relación al concepto de electronegatividad no concuerdan con la interpretación que poseen del mismo; si consideran la electronegatividad como la capacidad de un átomo para atraer electrones, surge un interrogante cuando representan la formación de un compuesto, de dos elementos con diferentes electronegatividades, en el cual el elemento más electronegativo posee la nube electrónica de menor tamaño. Es posible que debido a la falta de una interpretación profunda del concepto de electronegatividad por parte de los estudiantes, estos se encuentren incapacitados para realizar una representación adecuada de los sistemas en los cuales este involucrado el concepto.

Las hipótesis de investigación planteadas en relación al manejo descriptivo del concepto de electronegatividad por parte de los estudiantes son parcialmente concordantes con los resultados obtenidos; los estudiantes describen el concepto basándose en la regla del octeto, y además desconocen en un 95% los métodos de determinación de los valores relativos de electronegatividad, al igual que sus autores, pero dentro de las hipótesis no se considero que los estudiantes tomaran como herramienta, al describir la electronegatividad, la forma como esta propiedad varia en la tabla periódica, y menos que esta fuera su principal fuente de argumentos.

### **APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD.**

Se identifico que los estudiantes aplican de forma mecánica el concepto de electronegatividad a la solución de situaciones problema, centrándose en el uso de sus valores relativos, específicamente los de la escala desarrollada por Linus Carl Pauling. Es de anotar, como se menciona antes, que los estudiantes desconocen los métodos, y sus autores, por medio de los cuales se pueden obtener los valores relativos de electronegatividad.

La aplicación del concepto de electronegatividad, específicamente al enlace químico, por parte de los estudiantes carece de un análisis sobre la importancia e intervención del mismo, en general, se centra en la obtención de un valor numérico alrededor del cual gira sus respuestas.

En relación a la hipótesis planteada respecto a la aplicación que los estudiantes dan al concepto de electronegatividad se observa una total concordancia, es desarrollada en forma mecánica y sin un análisis respectivo.

## **RELACIÓN DEL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD CON LA PROPIEDADES PERIÓDICAS.**

Finalmente se observa que los estudiantes relacionan la electronegatividad con las propiedades periódicas basándose en la forma como estas varían en la tabla periódica. Los estudiantes no conciben la relación entre las propiedades periódicas y la electronegatividad partiendo del hecho que estas puedan poseer un origen común.

Una de las hipótesis propuestas estaba asociada con las concepciones que los estudiantes poseen sobre el concepto a partir de las cargas nucleares efectivas, en la investigación se observó que los estudiantes no interpretan, describen ó aplican el concepto de electronegatividad desde este referente, lo que es concordante con la hipótesis planteada.

El diseño de un módulo didáctico sobre el concepto de electronegatividad es de gran utilidad en una investigación, que como esta, busque determinar las concepciones que los estudiantes poseen sobre el mismo.

## 8. RECOMENDACIONES

Un componente importante de este trabajo de investigación se encuentra reflejado en el modulo didáctico acerca del concepto de electronegatividad, este material fue diseñado y elaborado pensando en la población específica con la cual fue implementado, la información recolectada es considerada como representativa del tema aunque no abarque todos los contenidos bibliográficos que sobre el concepto de electronegatividad hay en la actualidad; es por esa razón que a quien desee utilizar dicho modulo se sugiere, si es el caso, realice una complementación de sus contenidos, específicamente una adición de los métodos más actuales para describir y evaluar la electronegatividad desde la química y física teórica entre otras, dicho complemento permitiría abarcar un espectro más amplio de conocimientos acerca del concepto de electronegatividad.

En relación al desarrollo del concepto de electronegatividad en el aula y partiendo de los resultados obtenidos en relación a las concepciones de los estudiantes se recomienda lo siguiente:

- Involucrar como parte importante de los contenidos temáticos relacionados con el concepto de electronegatividad el desarrollo histórico del mismo, haciendo énfasis en la forma como evoluciono la interpretación del concepto a través del tiempo hasta los trabajos de Pauling en 1930.
- Realizar una descripción del concepto de electronegatividad a partir de las cargas nucleares efectivas, al igual que la determinación de sus valores relativos, con el fin de proveer a los estudiantes de herramientas que le permitan analizar más a fondo el significado de concepto de

electronegatividad y realizar una transposición del mismo a diferentes marcos conceptuales.

- Permitir que el estudiante descubra el significado del concepto de electronegatividad por medio del estudio de los diferentes métodos que existen para describir y evaluar esta propiedad.
- Fomentar en el estudiante un carácter crítico e investigativo a la hora de aplicar el concepto de electronegatividad a diferentes sistemas con el fin de que este proceso no sea mecánico.

Finalmente se recomienda a quienes desean realizar una investigación partiendo de los resultados obtenidos en esta tener en cuenta las limitaciones que pueden tener los mismos, ya que estos pueden un amplio margen de verificación con la muestra específica, pero al transponerlos a otras poblaciones ó muestras pueden ser parcialmente verificables ó inverificables.

## BIBLIOGRAFIA.

ARDILA R. Psicología del aprendizaje, siglo veintiuno editores, México 1982.

ALLRED L; ROCHOW E; A scale of electronegativity based on electrostatic force. Journal Inorganic and Nuclear Chemistry. 1958, 5, 246-268.

CABRERA N. RODRIGUEZ C. Otros. Módulo de instrucción para la enseñanza del enlace químico a limitados visuales. Tesis pre-grado Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá 1984

DE POSADA J. Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante, y después de la enseñanza formal. Enseñanza de la ciencias 1999, 17, 227-245

ERAZO M. Caracterización de la influencia empiropositivista que guía en pensamiento de los profesores de ciencias. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá 1999.

ERAZO M. Consideraciones críticas para la aproximación hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje por investigación. Investigación en la escuela. 1990 N° 12 Universidad de Sevilla. España.

ERAZO M. CASTELLANOS C. Enseñanza y aprendizaje por investigación. Un modelo didáctico para el cambio actitudinal. Ciencia en desarrollo. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 1995 19-29

ERAZO M. TIUSABA A. Hacia una enseñanza de las ciencias por investigación. Educación y cultura. N°38 1995, 37-44

FORERO R. QUINTERO R. Otros. Utilización de las representaciones de los alumnos para el desarrollo de la clase utilizando estrategias didácticas con énfasis en los mapas conceptuales. Tesis pre-grado Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá 1993

JUNCO J. Las concepciones de ciencias su enseñanza aprendizaje y modelo didáctico, en profesores de ciencias; un ensayo realizado con profesores de química alrededor de la actividad experimental. Universidad Pedagógica Nacional, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tesis de maestría. 1995

KUHN T. La estructura de las revoluciones científicas. Fondo de cultura económica, México 1975.

MARQUEZ I. ACEVEDO N. Módulo de enlace químico. Tesis pre-grado Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá 1980

MADOERY R. OTROS. La construcción de nociones básicas de química en ciencias agropecuarias: el caso de "efectos electrónicos en las moléculas". Enseñanza de las ciencias 2003,21,419-428.

POZO J. Mas allá del cambio conceptual: el aprendizaje de las ciencia como cambio representacional. Enseñanza de las ciencias 1999, 17, 513-520.

POZO J. GOMEZ M. Aprender y enseñar ciencia. Ediciones Marata S.L. España. 1998.

POZO J. Teorías cognitivas del aprendizaje. Marata S.L. España. 1999.

RIBOLDI L. PLIEGO O. Otros, El enlace químico una conceptualización poco comprendida. Enseñanza de las ciencias. 2004, 22, 195-212

ROBINSON W. An alternative framework for chemical bonding, Journal Chemical Education. 1998, 75, 1074-1075

ROMERO O., MONTERO M, Enlace Químico y estructura Molecular, J.M. Bosch Editor. España 2000

SANDERSON R. Principles of electronegativity Part 1, Journal Chemical Education. 1988, 65, 112-118

SANDERSON R. Principles of electronegativity Part 2, Journal Chemical Education. 1988, 65, 227-231

SANDERSON R; Electronegativity in inorganic chemistry I. Journal Chemical Education. 1952, 29, 539-544

SANDERSON R; Electronegativity in inorganic chemistry II. Journal Chemical Education. 1954, 31, 2-7.

SANDERSON R; Electronegativity in inorganic chemistry III. Journal Chemical Education. 1954, 29, 238-244

SANDERSON R; A new periodic chart, with electronegativities, Journal Chemical Education. 1956, 33, 443-445.

YARET M. CASTEÑEDA L. Diseño y elaboración de una videocinta sobre el trasfondo histórico del concepto enlace químico como estrategia constructivista. Tesis pre-grado Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá 1997.

**ANEXOS.**

**Anexo 1.** Modulo didáctico.

**MÓDULO DIDÁCTICO**  
**EL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD: DE AVOGADRO A LAS CARGAS**  
**NUCLEARES EFECTIVAS.**

**Diseñado por:**

**HENRY ISAAC CASTRO VARGAS**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**  
**BOGOTÁ D.C.**  
**2005**



## TABLA DE CONTENIDO.

	Pág
<u>INTRODUCCIÓN.</u>	66
1. <u>DESARROLLO HISTORICO DEL CONCEPTO ELECTRONEGATIVIDAD: De Avogadro a Pauling.</u>	67
2. <u>DESARROLLO DEL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD POST- PAULING.</u>	77
2.1 <u>Linus Carl Pauling y la escala termoquímica de electronegatividad.</u>	78
2.2 <u>Robert Mulliken; las energías de ionización y afinidades electrónicas en la determinación de los valores relativos de electronegatividad.</u>	79
2.3 <u>G. J. Malone los momentos dipolares y la electronegatividad.</u>	80
3. <u>EL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD A PARTIR DE LAS CARGAS NUCLEARES EFECTIVAS.</u>	81
3.1 <u>Que es el efecto de Apantallamiento.</u>	83
3.2 <u>Constantes de apantallamiento y carga nuclear efectiva</u>	84
3.2.1 <u>Reglas de Slater.</u>	85
3.3 <u>Descripción de la electronegatividad a partir de las cargas nucleares efectivas, desde Louis Allred-Eugene Rochow, Walter Gordy y Robert Sanderson.</u>	89
4. <u>EL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD Y EL ENLACE QUÍMICO.</u>	96
4.1 <u>El enlace químico desde Gilbert Newton Lewis.</u>	96
4.2 <u>Una observación más profunda a la naturaleza del enlace químico desde el concepto de electronegatividad descrito a partir de las cargas nucleares efectivas.</u>	100
4.3 <u>Enlace químicos múltiples.</u>	105
4.4 <u>Tipos y propiedades de enlaces químicos.</u>	106
4.4.1 <u>Enlace covalente.</u>	106
4.4.2 <u>Enlace iónico.</u>	108
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	110

## INTRODUCCION.

El presente material es un módulo didáctico sobre el concepto de electronegatividad diseñado a partir de una revisión bibliográfica sobre aspectos importantes del mismo, entre los cuales se pueden resaltar: el desarrollo histórico del concepto, la evolución en la interpretación del concepto, los métodos de determinación de sus valores relativos, la descripción del concepto a partir de las cargas nucleares efectivas, la aplicación del concepto a la descripción del enlace químico, entre otros.

Este módulo presenta una descripción detallada de la forma como la interpretación del concepto de electronegatividad ha evolucionando a través del tiempo, desde sus inicios en el siglo XVII hasta el siglo XX, donde adquirió su interpretación actual. Otro factor importante es la descripción del concepto desde diferentes autores, quienes además han evaluado esta propiedad por diferentes métodos y han desarrollado sus escalas de valores relativos. Además se ha realizado una descripción del concepto a partir de las cargas nucleares efectivas la cual permite comprender con una adecuada profundidad el origen de esta propiedad. Aunque el concepto de electronegatividad posee una amplia versatilidad, en este material didáctico se realiza una aplicación del mismo a la descripción específica del enlace químico, aclarando que esto no indica que el concepto este limitado a este referente conceptual de la química.

Por otro lado la información recolectada en este módulo es considerada representativa para la descripción del concepto, aunque existe un amplio espectro de investigaciones y trabajos sobre el mismo que no son incluidas y que igualmente son importantes.

## 1. DESARROLLO HISTORICO DEL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD:

### De Avogadro a Pauling.<sup>3</sup>

Desde el inicio de la química como ciencia experimental quienes se han desarrollado en esta se han interrogado sobre el ¿porqué las sustancias se combinan formando otras?, ¿porqué los elementos fundamentales se juntan y forman sustancias diferentes en varios aspectos a las iniciales?, ¿qué permite que exista una gran variedad de compuestos químicos? entre otros, aun en la actualidad nos interrogamos sobre este tema a pesar de tener una variedad de teorías y modelos que nos ayudan en el entendimiento de este fenómeno. Al mismo tiempo que el concepto de enlace químico evolucionaba lo mismo por su parte hacia el de electronegatividad, como se vera en los siguientes párrafos, los trabajos de quienes trataban de resolver los interrogantes antes indicados llevaban consigo componentes que en ultimo termino hicieron parte del desarrollo histórico del concepto de electronegatividad, pero regresemos a la historia y observemos la evolución del concepto de electronegatividad y su relación con el enlace químico.

**Figura 1.** Pierre Macquer



Fuente: Études historiques II. Eugène Chevreul, critique de Hoefler

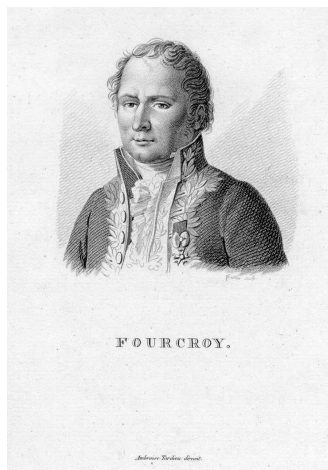
El siglo XVIII fue de gran trascendencia en la comprensión del enlace químico, ya estaba establecida la existencia de elementos individuales y el hecho de que su combinación llevaba a la formación de nuevas sustancias pero ahora los químicos se interesaban por encontrar la razón por la cual estos elementos, y en muchos casos compuestos, se combinaban y formaban estas nuevas sustancias, Pierre Macquer (Figura 1) fue uno de los primeros en interesarse por el tema de la afinidad entre las

---

<sup>3</sup> Debido a la estrecha relación entre la evolución del concepto de electronegatividad y el enlace químico en esta sección se hace una descripción de los dos conceptos relacionando uno con el otro.

sustancias químicas, en 1749 en su libro *Elementos de teoría y practica de la química* propuso las primeras leyes para describirla entre las cuales las mas importantes indican que la afinidad entre las sustancias es consecuencia de las similitudes y disimilitudes entre estas, según Macquer, dos sustancias diferentes pueden interactuar y combinarse, al mismo tiempo sustancias similares como el agua puede tener afinidad e interactuar sin combinarse, poco después en 1789 Antoine Foucroy (Figura 2.) mejoro las reglas de Macquer en su libro *Elementos de química e historia natural* estableció en primer instancia que entre sustancias similares no existía afinidad alguna por el contrario se requería que dos sustancias fueran diferentes para interactuar y entrar en combinación, para Foucroy entre más diferentes fueran las sustancias mayor seria su afinidad y mayor su capacidad para formar otras sustancias, también indico que los productos que se obtenían de la combinación de diferentes sustancias tendrían propiedades en general diferentes a las sustancias iniciales. Hasta este punto las hipótesis de quienes se desempeñaban en este campo no tenían relación alguna con el concepto de electronegatividad por el contrario se basaban fundamentalmente en tratar de explicar la afinidad química, pero en realidad estos trabajos son considerados como los pioneros en el desarrollo del concepto de electronegatividad ya que dieron paso al desarrollo de ideas que finalmente concluyeron el la primera descripción específica del concepto.

**Figura 2.** Antoine Foucroy 1755-1809



Fuente: Dernière mise à jour 5 mai 2004

Una hipótesis que revoluciono, e inicio la descripción del concepto de electronegatividad, fue la propuesta de Humphry Davy (Figura 3.) quien en 1806 indico en su texto *Sobre las relaciones entre las energías eléctricas de los cuerpos y sus afinidades químicas* que la combinación, o poder de combinación como el lo llamaba, entre sustancias era el producto de las disimilitudes asociadas a una carga eléctrica presente en cada una de las sustancias, es decir, cada sustancia tiene asociada una carga negativa o positiva y la unión entre sustancias con carga

diferente da lugar a la formación de un compuesto, esta idea fue muy aceptada y en principio explico muchas reacciones químicas y como tal era la primera descripción del concepto de electronegatividad ya que según Davy una sustancia tendría afinidad por otro debido a la afinidad por su cargas opuesta que era necesaria para neutralizar (estabilizar) el sistema.

**Figura 3.** Humphry Davy.



Fuente: Researches, Chemical and Philosophical; Chiefly Concerning Nitrous Oxide, or Dephlogisticated Nitrous Air, and Its Respiration (1800).

La propuesta de Davy era tan interesante que Amadeo Avogadro (Figura 4.) en sus estudios sobre las propiedades de los ácidos y álcalis la tomo como base para explicar las reacciones químicas, en sus trabajos de 1809 Avogadro trato de hacer una ampliación de las propiedades de los ácidos y álcalis, en auge por ese tiempo, a todas las sustancias y propuso un modelo en el que describía las sustancias desde, lo que el llamo, antagonismos, para Avogadro un antagonista ácido seria una sustancia cuyas propiedades era lo más similares a las de un ácido y un antagonista alcalino similar a un álcali, y el encuentro entre antagonistas opuestos daría lugar a una reacción (análoga a la de un ácido y un álcali), pero adiciono la hipótesis de Davy y le asigno a cada antagonista una carga, el ácido negativa y el álcali positiva, siguiendo con la tendencia propuesta por Davy. Este trabajo lo expuso Avogadro en una escala que el denomino escala de oxigenicidad, en la cual ordenaba las sustancias dependiendo de sus propiedades como ácidos o álcalis (antagonistas) en un extremo estarían los antagonistas ácidos, con la mayor oxigenicidad, siendo el primero el oxigeno y en el otro los antagonistas alcalinos, con la menor oxigenicidad, representados por los metales alcalinos (Figura 5). Como tal el termino oxigenicidad fue la primera descripción del concepto de electronegatividad aquellos elementos con carga negativa y antagonismo ácido que tendrían afinidad por los antagonistas opuestos, la escala de oxigenicidad de Avogadro es considerada por algunos como la primera escala de electronegatividad.

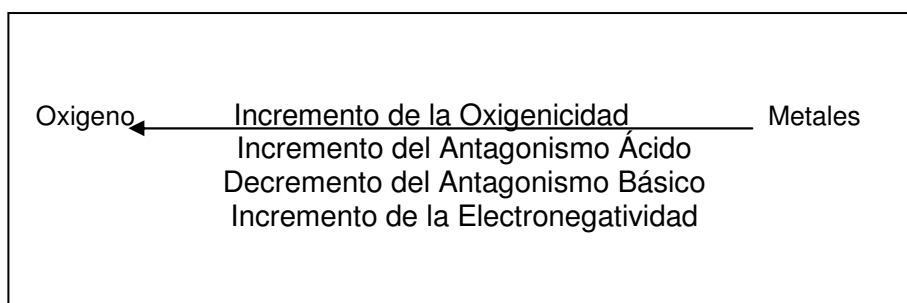
**Figura 4.** Amadeo Avogadro 1776-1856



Fuente: Oesper Collection.

Según la escala de Avogadro entre mas alejados en la escala, es decir entre mayor fuera su antagonismo opuesto debido a la carga, mayor seria la afinidad entre las sustancias y al mismo tiempo como propuso en otros términos Humphry Davy y Antonie Foucroy sustancias con un antagonismo similar no tendrían afinidad entre ellas debido a que tendrían presente una carga de signo igual y una afinidad como tal por una carga opuesta.

**Figura 5.** Versión moderna de la escala de Oxigenicidad de Avogadro.



Fuente: JENSEN W. 1996.

Siguiendo con este, denominado por algunos autores como dualismo electroquímico, llegamos a 1811 año en el que Jöns Jakob Berzellius (Figura 6) propuso una teoría, que inicialmente tenia como fin remplazar la teoría del calórico propuesta por Lavoisier la cual explicaba por que algunas reacciones liberaban energía,

sencillamente siguiendo a Davy y Avogadro, Berzellius propuso que dos sustancias que se combinaban y liberaban energía contenían en su interior un fluido con carga positiva o negativa, que él llamó fluido calórico, y que al entrar en combinación dos sustancias el fluido positivo y el negativo se combinarían dando lugar a la liberación de energía posterior a la formación del compuesto, así Berzellius explicó no solo la existencia de reacciones exotérmicas en su momento sino que las asoció con la afinidad entre las sustancias, en la teoría de Berzellius una sustancia con fluido negativo se combinaría con otra con fluido de signo contrario y entre mayor fuera el contenido de fluidos opuestos mayor sería su afinidad. La teoría del calórico de Berzellius es como tal la fuente del término electronegatividad ya que fue Berzellius quien con el fin de diferenciar entre una sustancia con fluido negativo de otra con fluido positivo, en términos de Avogadro antagonista ácido y alcalino, las llamó sustancias electronegativas y electropositivas y argumentó que entre mayor fuera la diferencia de esa electronegatividad mayor sería la afinidad entre dos sustancias.

**Figura 6.** Jöns Jakob Berzellius 1779-1848



Fuente: Oesper Collection.

Avogadro realizó varios intentos de medir los valores del fluido positivo utilizando instrumentos de la época como las pilas voltaicas y los electróforos a tal punto que propuso la primera escala con el nombre de escala de electronegatividades en 1836, *Electrochemische Theorie* en Suiza (Figura 7) en la que incluía elementos descubiertos a la fecha.

**Figura 7.** Escala de electronegatividades de Berzellius (a) Versión original, (b) Versión traducida. *El mas electronegativo el oxigeno (Suaerstoff) el menos electronegativo el potasio (Kalium), la línea entre el hidrogeno (Wasserstoff) y el oro separa a los elementos electronegativos de los electropositivos.*

Electrochemische Theorie	Tabla electroquímica
Suaerstoff , Palladium	Oxigeno, Paladio
Schwefel, Quecksilber	Schwefel, Mercurio
Fluor, Kupfer	Fluor,
Chlor, Uran	Cloro, Uranio
Brom, wismuth	Bromo,
Jod, Zinn	Yodo, Cinc
Seleu , blei	Seleenio,
Phosphor, cadmium	Fosforo, cadmio
Arsenik, Cobalt	Arsenico, Cobalto
Chrom, Nickel	Cromo, Niquel
Vanadium, Eisen	Vanadio,
Molybdan, Zink	Molibdeno, Zink
Wolfram, Mangan	Wolframio, Manganeso
Bor, Cerium	Boro, Cerio
Kohlenstoff, Thorium	, Torio
Antimon, Zirconium	Antimonio, Zirconio
Tellur, Aliminuim	Telurio, Aliminuio
Tantal, Ytrium	Tantalo, Ytrio
Tiatn, Beryllium	Tiatnio, Berillio
Wasserstoff, Calcium	Hidrógeno, Calcio
-----, Strontium	-----, Estroncio
Gold, Barium	Oro, Bario
Osmium, lithium	Osmio, litio
Iridium, Natrum	Iridiuo, Sodio
Platin, Kalium	Platino, Potasio
Rhodium	Rodio

(a)

(b)

Fuente: JENSEN W. 1996.

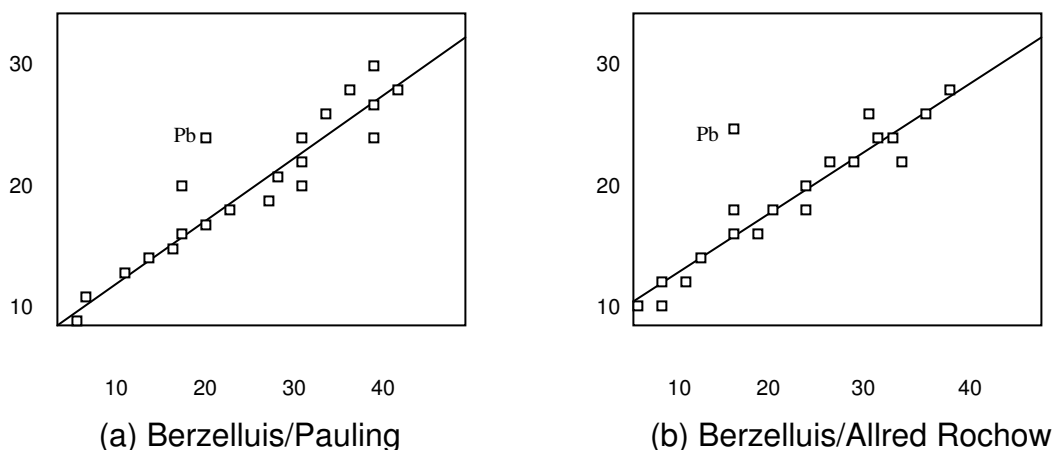
A pesar de que los métodos de Avogadro no eran muy precisos para la actualidad, en el presente se tienen comparaciones entre su escala y la de otros autores entre ellos Linus Carl Pauling y Luis Allred-Eugene Rochow, en las que existe una correlación entre los datos presentados y coincidencias en sus regularidades (Figura 8).

Hasta este punto se puede observar que la descripción más acertada del concepto de electronegatividad se basaba en la tendencia a atraer cargas opuestas como fluido calórico, este modelo para describir no solo la electronegatividad sino también la afinidad química fue denominado modelo del dualismo electroquímico y tuvo un gran auge hasta mediados del siglo XIX.



El concepto de electronegatividad siguió evolucionando pero ahora no solo relacionado con la afinidad química (enlace químico y reactividad) sino que por el contrario con otros campos de la química, como la valencia, la ley periódica, la termoquímica, y la teoría eléctrica de la materia. Para 1874 Josiah Cooke retomando el dualismo electroquímico propuso que la estructura de los compuestos químicos era el resultado de de la tendencia de los elementos electropositivos y electronegativos a entrar en combinación en forma tal que los polos opuestos quedaran interactuando entre ellos, es de anotar que esta polaridad estaba determinada según Cooke por la electronegatividad. Cooke fue uno de los últimos autores que describo el concepto de electronegatividad desde el dualismo electroquímico, como se vera más adelante solo hasta el descubrimiento del electrón el concepto paso de ser relacionado con las cargas o polaridad de las sustancias ha ser descrito desde partículas cargadas eléctricamente presentes en las sustancias, todos los demas aportes dados al concepto tenían como fin relacionarlo con los hechos observados o con los modelos y teorías que surgían, es tal el caso de Lothar Meyer quien en 1888 introdujo la electronegatividad en el sistema periódico, específicamente basándose en los trabajos de Avogadro, y desarrollo un modelo de la tabla periódica en el cual por medio de flechas indicaba el aumento en el carácter electropositivo de los elementos (Figura 9), es de anotar que el modelo de Meyer no presentaba valores específicos de electronegatividad y que al igual que la escala de oxigenicidad de Avogadro se basaba en observaciones de sistemas químicos.

**Figura 8.** Correlación entre las electronegatividades de (a) Berzelluis y Pauling, (b) Berzelluis y Allred-Rochow.



Fuente: JENSEN W. 1996

Desde la termoquímica Jacobus Van't Hoff (Figura 10.) relaciono el concepto de electronegatividad con el calor de reacción (entalpía de reacción) y observo que dos elementos con electronegatividades diferentes, específicamente un predominantemente electronegativo y otro predominantemente electropositivo, al reaccionar liberaría una cantidad de energía mayor entre mayor fuera la diferencia de sus electronegatividades y tomo como referencia la reacción entre el Cloro con el Sodio y el Oxígeno con el sodio encontrando que la entalpía de reacción de del Oxido de Sodio era mayor que la del Cloruro de Sodio (Figura 11), como tal el aporte de Van't Hoff fue es el principio del método que posteriormente trabajara Linus Carl Pauling para determinar los valores relativos de electronegatividad.

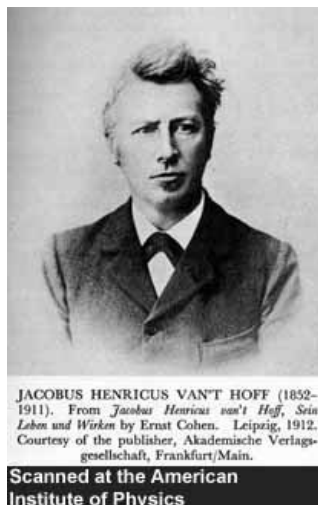
**Figura 9.** Representación de Meyer de la Variación periódica de las electronegatividades. *Lo elementos ubicados en la parte superior poseen la mayor electronegatividad en relación a los de la parte inferior.*

	Li	←	Be	←	B	→	C	←	N	←	O	F	→							
(F)	→	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	→							
	Na	←	Mg	←	Al	←	Si	←	P	←	S	←	Cl							
(Cl)	→	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	→							
	K	←	Ca	←	Sc	←	Ti	←	V	←	Cr	→	Mn	←	Fe	←	Co	←	Ni	←
(Ni)	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
(Br)	→	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
	Rb	←	Sr	←	Y	←	Zr	←	Nb	←	Mo	←	→	Ru	←	Rh	→	Pd	→	
(Pd)	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
(J)	→	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
	Cs	←	Ba	←	La	←	Ce	←	Ta	←	W	←	→	Os	←	Ir	→	Pt	→	
(Pt)	→	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
	Au	←	Hg	←	Tl	←	Pb	←	Bi	←	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	—	—	—	—	Th	—	—	—	—	—	U	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Fuente. Lothar Meyer, Modern Theories of Chemistry.

Hasta este punto el concepto de electronegatividad hace referencia solamente a la tendencia de los elementos y compuestos a poseer una carga positiva o negativa y esta carga determina entre otras cosas su reactividad o afinidad química, estructura, ubicación en la tabla en relación a otros elementos y entalpía de reacción, tanto los trabajos hasta Berzelluis como los desarrollados hasta Van't Hoff se basan en la descripción del concepto como una tendencia de las sustancias por tener una carga de determinado signo, dando a entender que las especies químicas neutras no poseen electronegatividad, la descripción sobre la fuente de dichas cargas o su ubicación en la estructura de los compuestos no es clara, solamente Cooke describió que dichas cargas se podrían ubicar en los polos de la sustancia como en un magneto, y la forma como una sustancia se carga positiva o negativamente no trasciende más del conocimiento de la época sobre electricidad.

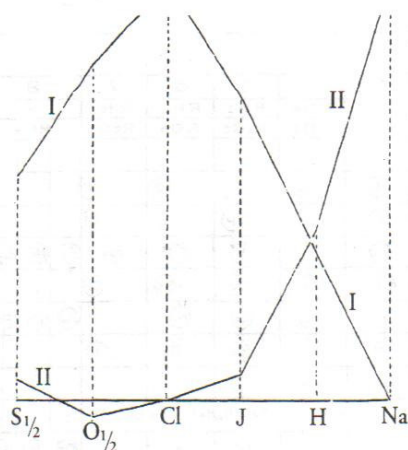
**Figura 10.** Jacobus Van't Hoff



Fuente. American Institute of Physics

Al finalizar el siglo XIX Jhon Joseph Thomson (Figura 12.) descubre el electrón y con este hecho el concepto de electronegatividad inicia su proceso para llegar a su forma actual, quizás el aporte más significativo y en algunos casos poco conocido, fue el del físico Alemán Johannes Stark (Figura 13), en 1903 propuso en su monografía *Die Dissoziierung und Umwandlung Chemischer Atome* que la electronegatividad era la tendencia de los elementos químicos por atraer electrones negativos (los electrones de Thomson) desde fuera del átomo del elemento y que esta tendencia era proporcional a la energía de ionización del elemento. Stark fue el primero en realizar una escala de valores relativos de electronegatividad partiendo de los datos obtenidos al medir las energías de ionización de elementos gaseosos.

**Figura 11.** Gráfica de Van't Hoff, entalpías de reacción del sodio (curva I) y el Cloro (curva II) y los equivalentes para el Azufre, Yodo e Hidrógeno.



Fuente: JENSEN W. 2003.

**Figura 12.** Jhon Joseph Thomson



Fuente: Oesper Collection.

Con la propuesta de Stark el concepto de electronegatividad adquiere una descripción similar a la actual, posterior a sus trabajos se desarrollaron otros partiendo de su hipótesis y fue en 1932 cuando Linus Carl Pauling en su escrito *Sobre la Naturaleza del enlace químico, las energías de los enlace simples y las electronegatividades relativas de los átomos* se presentó la forma actual y más aceptada del concepto de electronegatividad.

**Figura 13.** Johannes Stark. 1874-1957.

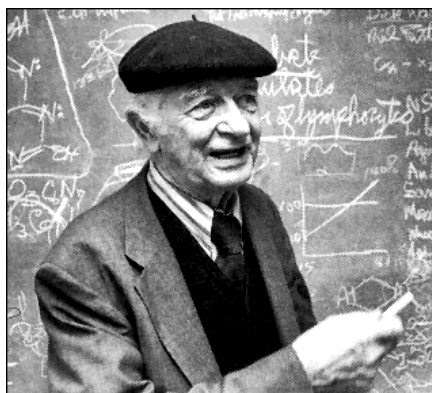


Fuente: Oesper Collection.

## 2. DESARROLLO DEL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD POST-PAULING.

Para 1930 la teoría atómica se encontraba en auge y los trabajos de la mecánica cuántica se veían venir a paso firme a tal punto que ilustremente en 1932 Linus Carl Pauling (Figura 14.) presentó un escrito que se puede considerar como inicio de la mecánica cuántica en la química y específicamente con el fin de describir el enlace químico (*The Nature of the Chemical Bond*). En este trabajo Pauling dio la descripción más aceptada en la actualidad del concepto de electronegatividad y presentó su escala termoquímica de valores relativos para varios elementos entre ellos diez no metálicos. A continuación se dará una descripción breve de los hechos alrededor del concepto de electronegatividad a cargo de los autores más importantes que sobre el tema han trabajado (Pauling, Mulliken, Malone) principalmente en la determinación de las escalas de valores relativos de electronegatividad. Es de anotar que los científicos que han trabajado en el concepto desde las cargas nucleares efectivas se describirán con más detalle en la siguiente sección.

**Figura 14.** Linus Carl Pauling. 1901-1994



Fuente: Linus Carl Pauling Institute.

Diversos métodos se han propuesto para evaluar la electronegatividad, Pauling la ha descrito en una manera amplia y cuantitativa como “la capacidad o poder de un átomo en una molécula de atraer electrones hacia si mismo” dichos métodos relacionan electronegatividad con características de los átomos y moléculas extensamente diversas y que están muy relacionados con los valores derivados. La cuantificación depende en cierto grado del tipo de enlace y del ambiente eléctrico del átomo, el radio covalente, entre otras lo que hace de la electronegatividad una propiedad variable. Sin embargo, en una gran cantidad de átomos sigue siendo suficientemente constante para ser una propiedad útil.

## 2.1 Linus Carl Pauling y la escala termoquímica de electronegatividad.

Linus Carl Pauling, quién fue el primero en proponer una escala de los valores de electronegatividad (Figura 15), obtenidos de la energía iónica adicional (Como la llamo Pauling) en los enlaces químicos entre átomos diferentes. Su ecuación es:

$$|X_A - X_B| = 0.208\Delta^{1/2}$$

Dónde la  $X_A$  y  $X_B$  representan los electronegativities de los átomos A y B que se encuentran enlazados y dónde  $\Delta$  representa la energía (electronvoltios) iónica adicional que se espera para un enlace covalente puro A - B, Para aplicar la anterior ecuación debe conocerse las energías de los enlaces individuales entre A-A y B-B. Sin embargo, Pauling también ha expresado la diferencia de la electronegatividad, en términos del calor de la formación del compuesto A-B. Pauling incluyo en su tabla de electronegatividades los elementos para los cuales la electronegatividad era una cantidad bien definido o fija.

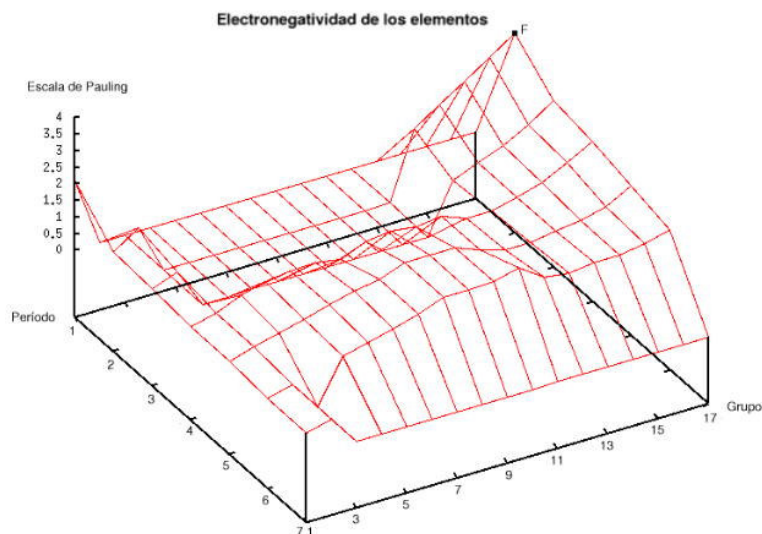
$$|X_A - X_B| = \Delta H$$

Según la propuesta de Pauling cuando dos átomos diferentes se enlazan la diferencia en sus electronegatividades hace que la energía de enlace (entalpía de reacción) sea mayor de lo que se espera si el enlace fuera covalente puro, es decir como consecuencia de la distribución desigual de los electrones, Pauling propone, se da lugar a la formación de una energía extra (a la de un enlace covalente puro) debida al desplazamiento de los electrones de enlace hacia el átomo mas electronegativo esta es la energía iónica extra  $\Delta$  de Pauling, dicha energía es directamente proporcional a la electronegatividad de este átomo mas electronegativo y por tanto proporcional a la diferencia de electronegatividades.

En el caso del compuesto A-B la diferencia entre el promedio de las energías de enlace de A-A y B-B, y la energía de enlace de A-B es igual a la energía extra iónica y proporcional, como se indico, a la diferencia de electronegatividades de A y B.

En la actualidad la escala de electronegatividades de Pauling es las más usada ya que sus datos son relativamente fáciles de determinar y tienen alta correlación con los datos observados experimentalmente.

**Figura 15.** Modelo tridimensional de las electronegatividades de Pauling en el sistema periódico.



Fuente: Webelements.com

## 2.2 Robert Mulliken; las energías de ionización y afinidades electrónicas en la determinación de los valores relativos de electronegatividad.

Al mismo tiempo que Pauling desarrollaba sus trabajos, Robert Mulliken propuso que la electronegatividad de un elemento es la media aritmética de su primera energía de la ionización,  $I$ , y su afinidad electrónica,  $E$ :

$$X = (I+E) / 2$$

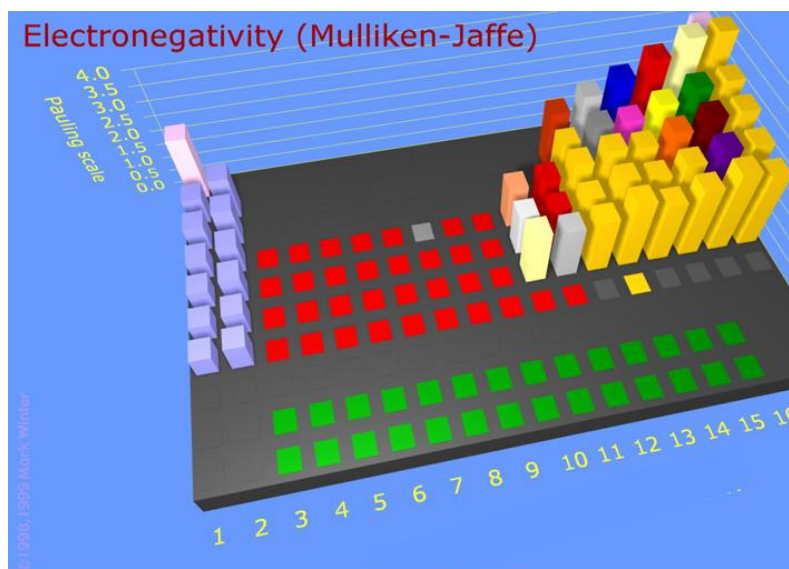
El concepto ha sido desarrollado más completamente por autores que han trabajado sobre electronegatividad orbital (Hinze J. Jaffe H. 1962, 1963. y Bratsch S. 1988) quienes han determinado más exactamente los valores de  $I$  y  $E$  y estas electronegatividades se han correlacionado con los valores presentados por Pauling (Figura 16.).

La propuesta de Mulliken sigue la línea de la descripción antes indicada de Stark ya que relaciona la electronegatividad con la energía necesaria para remover los electrones totalmente de un átomo, potencial o energía de ionización, y adiciona la afinidad electrónica, una medida de la afinidad que tiene dicho átomo por los

electrones de otros átomos reflejada en estabilidad energética, por tanto un elemento con una energía de ionización alta y una gran afinidad por los electrones será un elemento electronegativo.

La electronegatividad desde Pauling hace referencia a la atracción de electrones en una molécula formada por un enlace covalente, debido a que los valores de Mulliken implican la remoción total de los electrones (ionización) algunos autores consideran que los valores de relativos de electronegatividad al igual que su interpretación son ambiguos.

**Figura 16.** Modelo de barras electronegatividades de Mulliken-Jaffe. Normalizadas a los valores de Pauling.



Fuente: Webelements.com

### 2.3 G. J. Malone los momentos dipolares y la electronegatividad.

G. J. Malone sugirió una relación directa entre diferencia de electronegatividades de los átomos en una molécula y su momento dipolar:

$$X_A - X_B = \mu$$

Donde  $\mu$  es el momento dipolar de la molécula en Debyes, al igual que la escala de Pauling entre mayor sea la diferencia de electronegatividades mayor será  $\mu$  lo que permite una medida razonablemente útil de la electronegatividad desde los valores de  $\mu$ .



En la tabla 4 Sección 3.3 se indican los valores de electronegatividad de los autores antes indicados y los de los autores que se mencionaran en la siguiente Sección, a partir de sus correspondientes métodos.

### **3. EL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD A PARTIR DE LAS CARGAS NUCLEARES EFECTIVAS.**

Es de conocimiento común que dos cargas opuestas se atraigan una a la otra con una fuerza que depende de la distancia que las separa y de la magnitud de las cargas, esto es expresado matemáticamente por la ley de Coulomb que describe la interacción entre cargas puntuales  $q_1$  y  $q_2$  que están separadas por una distancia  $r$ :

$$F = q_1 q_2 / r^2$$

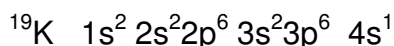
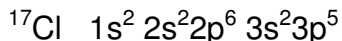
la atracción entre estas cargas es consecuencia de la interacción de sus campos eléctricos, al igual que entre los campos magnéticos como lo describe la ley Gauss, en consecuencia esta es una interacción de tipo electromagnética entre las cargas.

Partiendo de este hecho podemos iniciar nuestro estudio de la naturaleza del enlace químico como producto de la atracción electrostática entre los electrones y el núcleo. Un átomo está compuesto principalmente por tres tipos de partículas<sup>4</sup> los electrones con carga negativa -e que según el modelo atómico de Bohr ocupan orbitas fijas cuantizadas o niveles energéticos, los protones con carga positiva +e que se encuentran aglomerados en el núcleo y que son sostenidos por la fuerza nuclear fuerte por medio de las denominadas partículas virtuales entre otras y los neutrones que al igual que los protones se encuentran en el núcleo pero estos carecen de carga, por tanto entre los principales constituyentes del átomo las fuerzas de tipo electromagnéticas se presentan entre los protones del núcleo y los electrones en sus determinados niveles de energía, un átomo neutro tiene un número igual de protones y electrones, si analizamos por ejemplo varios átomos de los elementos encontramos que esta regularidad es común, con base en este hecho es de suponer que en un átomo neutro de cualquier elemento la atracción entre los protones y los electrones es igual es decir que por ejemplo observamos un átomo de potasio con 19 electrones y 19 protones y lo comparamos con un átomo de Cloro con 17 protones y 17 electrones al haber igual número de cargas opuestas en cada átomo la atracción sería la misma y los tamaños de los átomos serían casi iguales sino iguales, pero en la realidad esto no es así, en primer lugar los electrones no se encuentran todos a la misma distancia del núcleo debido a que se encuentran en los

---

<sup>4</sup> Para ver algo más sobre las partículas elementales ver Trefil J, Davis P. Yuval N

niveles cuantizados de energía entre mayor sea el contenido energético de estos mas alejados están del núcleo y esto varia la atracción electrostática, en los elementos en cuestión la distribución de sus electrones indica que el ultimo electrón del potasio se encontrara mas alejado que los últimos del Cloro, observemos su configuración electrónica:



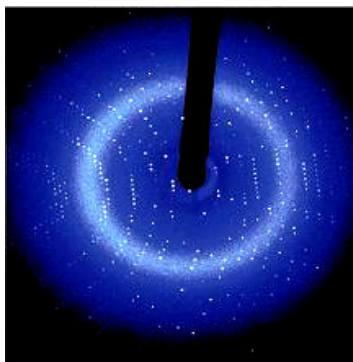
el electrón  $4s^1$  del potasio se encontrara en un nivel de mayor energía respecto a los electrones del nivel 3 del Cloro y por tanto esta mas alejado del núcleo y el tamaño del átomo será diferente al igual que la atracción sobre este a pesar de tener el mismo número de electrones y protones. Pero existe un fenómeno más significativo a la hora de analizar la atracción del núcleo en un átomo por sus propios electrones este es el llamado efecto de apantallamiento de los electrones hacia el núcleo.

### 3.1 Que es el efecto de Apantallamiento.

Las propiedades de un electrón en un átomo pueden ser fácilmente descritas al solucionar la ecuación de onda de schrödinger (función de onda) en los casos en los que se esta tratando con átomos tipo hidrogenoides, átomos que tienen una estructura electrónica constituida por un solo electrón como el átomo de hidrógeno, pero como puede observarse en la tabla periódica existen muchos átomos de elementos con un número de electrones que supera la unidad desde el Helio hasta los elementos recientemente descubiertos que van por el número 116-117, los cuales tienen una vida media muy corta, y en estos casos la aplicación de la ecuación de onda de schrödinger se hace extremadamente difícil debido a la gran cantidad de cálculos que se debe hacer, una propuesta para resolver el problema y aplicar la ecuación de schrödinger es suponer que se puede calcular una función de onda general analizando los electrones por medio de una función para cada uno y el producto de estas nos describiría el estado del sistema, el problema con este método radica en las interacciones entre los electrones no consideradas y que es nuestro tema de interés dichas interacciones son la causantes de un fenómeno conocido como el **apantallamiento nuclear** o simplemente **apantallamiento** importante a la hora de determinar la carga nuclear sobre los electrones del átomo y que fue analizado con el fin de describir las propiedades de los electrones en un átomo como se dijo inicialmente. Los átomos que poseen más de un electrón en sus niveles de energía se conocen como polielectrónicos el mas sencillo es el Helio con dos electrones ubicados en el orbital s del primer nivel de energía (número cuántico principal 1) y los mas complejos poseen hasta 94 electrones para los elementos

naturales, son muchas las interacciones que se pueden presentar en estos átomos entre las más importantes tenemos las relacionadas con las fuerzas de tipo Coulomb, la de repulsión entre los electrones y la de atracción entre el núcleo y los electrones, al analizar estas fuerzas en el átomo de Helio tenemos, como consecuencia de la repulsión entre las cargas iguales de los electrones del átomo, la presencia del llamado efecto de apantallamiento el cual consiste en una disminución de fuerza de atracción por parte del núcleo sobre uno u otro de los electrones, desde este punto de vista de las interacciones electrostáticas (Coulomb) podemos describir que debido a la repulsión entre los electrones estos se alejan mutuamente del núcleo y según la ley Coulomb la fuerza con la que ese los atrae se vera reducida ya que esta es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, según lo descrito en 1930 por Jhon Slater podemos suponer que la disminución de la fuerza de atracción por parte del núcleo es consecuencia de la interacción entre parte de la carga de un electrón, en un punto en que interactúa otro electrón, y el núcleo, reduciendo la carga con la que el núcleo atrae a este último electrón.

**Figura 17.** Esquema de distribución de los campos electromagnéticos en un átomo de Litio obtenido por computadora, distribución electrónica simétrica alrededor del núcleo ( $1s^2 2s^1$ ).



La determinación del efecto de apantallamiento se hace cada vez mas complicado a medida que aumenta el número de electrones que llenan los niveles de energía debido a que dichos electrones se ubican en orbitas pertenecientes a los niveles con diferentes distribuciones en el espacio y como consecuencia de esto los diferentes vectores asociados a la repulsión entre los electrones actúan en direcciones variadas, contrario al caso en el que los electrones se encuentren en una distribución simétrica esférica o cercana a esta (por ejemplo en el átomo de litio (Figura 17), ya que en dicho caso se analizaría la repulsión como la generada por una carga puntual ubicada en un determinado punto y el apantallamiento seria menor, en las diferentes estructuras electrónicas de los átomos tenemos que cuando el número de electrones supera los cuatro se da lugar al llenado de los orbitales 2p con una distribución que es simétrica entre los 3 orbitales pero diferente en distribución respecto a los

orbitales 1s 2s predecesores, si pasamos al llenado del orbital 3s encontramos que el efecto de apantallamiento sobre los electrones ubicados en este vendrá de electrones de dos niveles de energía diferentes y de orbitales diferentes, como consecuencia de esto los electrones 3s se encontraran a una distancia mayor del núcleo y serán mas apantallado debido a las diferentes distribuciones espaciales de los electrones 1s2s2p y esto se reflejara en una fuerza de atracción por parte de la carga del núcleo muy reducida respecto a la que experimentan los electrones de los niveles anteriores.

Entre mayor se el número de electrones en los diferentes niveles de energía inferiores respecto a un nivel específico mayor será el apantallamiento que estos ejercen sobre el núcleo, es de anotar que este apantallamiento se puede considerar como la suma del apantallamiento entre los electrones en cada nivel de energía que da como resultado un protección cada vez mayor de los electrones mas externos sobre la atracción de núcleo disminuyendo su carga con la que puede atraer a estos.

### **3.2 Constantes de apantallamiento y carga nuclear efectiva.**

Debido a que el apantallamiento nuclear depende de el número de electrones que posea un átomo y su distribución en este se hizo necesario el desarrollo de un método que permitiera evaluarlo y conocer la carga del núcleo que sobre un electrón en un nivel de energía de un átomo ejercía atracción de Coulomb, en 1930 en un escrito titulado Constantes de apantallamiento atómico el físico Norteamericano Jhon Clarke Slater propuso un método para determinar las constantes de apantallamiento nuclear, Slater expreso que sobre un átomo polielectronico como producto del apantallamiento entre los electrones hacia el núcleo la carga del núcleo sobre los electrones externos era igual a lo que denomino una carga nuclear efectiva diferente de la carga real del átomo dada por el número atómico, dicha carga se calculaba por medio de la siguiente expresión

$$Z_{\text{Eff}} = Z - \sigma$$

Donde  $Z_{\text{Eff}}$  es la carga nuclear efectiva,  $Z$  es la carga nuclear real y  $\sigma$  es la constante de apantallamiento.

Para determinar la constante de apantallamiento Slater propuso una reglas que aun en la actualidad en ausencia de un ordenador son útiles a la hora de hacer un análisis semicuantitativo que implique la carga nuclear efectiva, en estas Slater propone unos factores que indican el nivel de apantallamiento que generan los electrones sobre los demás dependiendo del nivel de energía que ocupen en el átomo.

### 3.2.1 Reglas de Slater.<sup>5</sup>

Las siguientes son las reglas de Slater para calcular las constantes de apantallamiento.

1. Los electrones con  $n$  (número cuántico principal que describe el nivel de energía) mayor que el de electrón en cuestión no contribuyen al apantallamiento.

Esto quiere decir que al analizar el apantallamiento de un electrón en un nivel de energía  $n$  los electrones ubicados en  $n+1$ ,  $n+2$ ,  $n+3$  ... nivel de energía no generan apantallamiento, por ejemplo si analizamos el apantallamiento sobre un electrón  $1s$  del átomo de carbono con configuración  $1s^2 2s^2 2p^2$  los electrones del nivel 2 ( $n=2$ )  $2s^2 2p^2$  no ejercen apantallamiento sobre este ya que estos se encuentran mas lejos del núcleo que el electrón  $1s$  por tanto la repulsión que entre ellos haya no afecta la fuerza de atracción del núcleo sobre los electrones  $1s$ .

2. Los electrones con  $n$  igual al del electrón en cuestión ejercen un apantallamiento de 0.30 para los ubicados en un orbital  $s$  y de 0.35 para los demás.

Los electrones ubicados en el mismo nivel de energía del electrón en cuestión ejercen un apantallamiento de 0.30 para los  $s$  y 0.35 para los demás por cada electrón, por ejemplo en el caso del átomo de carbono los electrones del nivel 2 ejercerán un apantallamiento de  $0.30 \times 2 = 0.60$  para los  $s$  de  $0.35 \times 2 = 0.70$  para los  $p$  que en total será 1.3 en el nivel 2. El apantallamiento entre los electrones en un mismo nivel presenta el valor mas pequeño en el átomo y esto tiene fundamentalmente dos razones: desde el punto de vista de el modelo atómico de Niels Bohr estos electrones se encuentran en un mismo nivel de energía y su alejamiento respecto al núcleo es practicante el mismo, con una pequeña variación respecto a los diferentes orbitales, la segunda razón esta relacionada con la distribución espacial de los electrones, en un mismo orbital los electrones tienen la misma probabilidad de estar en cualquier parte de la región que representa estos orbitales por lo tanto la repulsión entre los electrones de un mismo orbital puede ser analizada como la generada por una carga puntual. La variación entre los orbitales  $s$  y  $p$  esta relacionada con la simetría de estos.

3. Los electrones ubicados en  $n - 1$  ejercen un apantallamiento sobre el electrón en cuestión de 0.85 para los electrones  $s$  y  $p$  y de 1 para los electrones  $d$ ,  $f$  y  $g$ .

---

<sup>5</sup> Fuente: ROMERO O, MONTERO M, Enlace químico y estructura molecular, GASABO J, Estructura Atómica y Enlace Químico

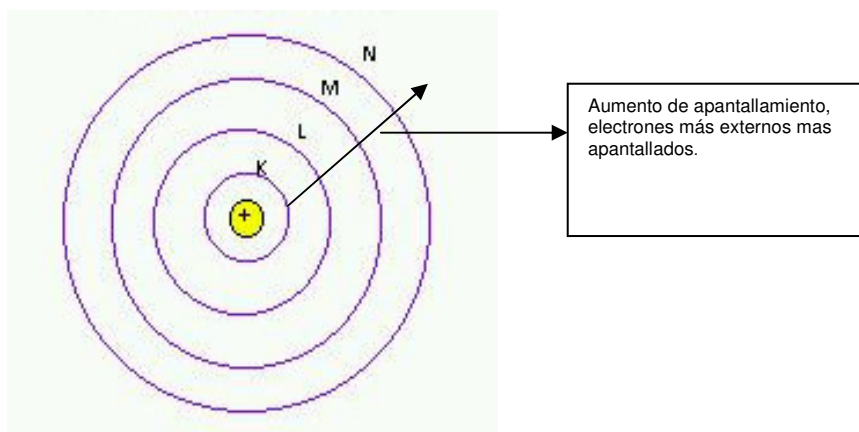
Las diferentes distribuciones en el espacio que pueden tomar los electrones en un nivel gracias a sus diferentes orbitas hacen variar las direcciones de los vectores de fuerza asociados a la repulsión y en consecuencia el efecto neto sobre los electrones en un nivel superior es mayor en términos de la reducción de fuerza de atracción del núcleo sobre los electrones de este ultimo, también en términos de niveles de energía el contenido mayor de energía de estos niveles superiores hace que se alejen mas de núcleo y su fuerza de atracción disminuya, en el caso del átomo de carbono los electrones 1s ejercen un apantallamiento igual a  $2 \times 0.85 = 1.7$

4. Los electrones ubicados en n-2, n-3, n-4..... ejercen un apantallamiento total igual a 1.

Como se puede observar los electrones de los niveles inferiores son lo que ejercen un mayor efecto de apantallamiento, por lo tanto un átomo con varios niveles de energía inferiores esta muy protegido de la atracción de núcleo sobre sus electrones más externos, desde el punto de vista de la atracción de Coulomb esto se puede asociar a un mayor alejamiento de los electrones respecto al núcleo es decir un aumento en el valor de  $r^2$ .

Al analizar las reglas de Slater podemos decir que el efecto de apantallamiento es en si el producto de un cubrimiento de los electrones mas internos sobre núcleo los cuales experimentan la mayor parte de fuerza de atracción e impiden que dicha fuerza llegue a los electrones más externos como consecuencia de sus repulsiones.

**Figura 18.** Variación del efecto de apantallamiento. *Los electrones más externos M,N,O etc serán mas apantallados por los de los niveles inferiores, los mas internos serán atraídos mas fuerte por el núcleo.*



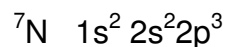
La tabla 1. presentan los datos obtenidos al calcular la carga nuclear efectiva sobre los electrones externos por el método de Slater y la tabla 2. los obtenidos usando un ordenador.

**Tabla 1.**  $Z_{\text{Eff}}$  Calculadas por el método de Slater

Elemento	$Z_{\text{Eff}}$	Elemento	$Z_{\text{Eff}}$
Li	1.30	Na	2.20
Be	1.95	Mg	2.85
B	2.60	Al	3.50
C	3.25	Si	4.15
N	3.60	P	4.80
O	4.55	S	5.45
F	5.20	Cl	6.10

Fuente: Romero O. 2000.

Consideremos uno de los datos de tabla anterior (siguiendo las reglas de Slater) el N su apantallamiento será:



Con 2 electrones en un nivel de energía inferior el apantallamiento debido a estos será  $(2 \times 0.85 = 1.7)$  y con 5 electrones en el mismo nivel el apantallamiento entre estos será  $\{(2 \times 0.30) + (3 \times 0.35) = 1.65\}$ , la constante de apantallamiento es 3.35 y la carga nuclear efectiva será:

$$Z_{\text{Eff}} = Z - \sigma$$

$$Z_{\text{Eff}} = 7 - 3.35$$

$$Z_{\text{Eff}} = 3.65$$

El significado de este valor indica que cada uno de los electrones del último nivel debido al apantallamiento de los demás (incluyendo los del nivel 1) son atraídos por una carga nuclear que en su posición es de  $+3.65e$ , es decir esta es para estos electrones la carga con la que se atraen no solo estos últimos sino todos los electrones del átomo, si asignamos arbitrariamente una fracción de esta carga a cada electrón, cada uno sería atraído por una carga de  $+0.52e$  menor que la unidad, pero cada átomo tiene igual número de electrones y protones, esto es simplemente el producto del efecto de apantallamiento.

Ahora comparemos los valores de  $Z_{\text{Eff}}$  del N y del Na, una carga de 3.65 y 2.20 observada por los electores de valencia para atraer a 7 y 11 electrones respectivamente, esta observación nos será de mucha utilidad en las siguientes secciones.

**Tabla 2.**  $Z_{\text{Eff}}$  Calculadas por ordenador<sup>6</sup>.

	N	1	2	2	3	3
Z		s	s	p	s	P
1	H	1				
2	He	1.69				
3	Li	2.69	1.28			
4	Be	3.68	1.91			
5	B	4.68	2.58	2.42		
6	C	5.67	3.22	3.14		
7	N	6.66	3.85	3.83		
8	O	7.66	4.49	4.45		
9	F	8.65	5.13	5.10		
10	Ne	9.64	5.76	5.76		
11	Na	10.63	6.57	6.80	2.51	
12	Mg	11.61	7.39	7.83	3.31	
13	Al	12.59	8.21	8.96	4.12	4.07
14	Si	13.57	9.02	9.94	4.90	4.29
15	P	14.56	9.82	10.96	5.64	4.89
16	S	15.54	10.63	11.98	6.37	5.48
17	Cl	16.52	11.43	12.99	7.07	6.12
18	Ar	17.51	12.23	14.01	7.76	6.76

Fuente: Gasabo J. 1996.

---

<sup>6</sup>Datos obtenidos por computadora.



### 3.3 Descripción de la electronegatividad a partir de las cargas nucleares efectivas, desde Louis Allred-Eugine Rochow, Walter Gordy y Robert Sanderson.

Tomando como punto de partida la descripción del concepto de electronegatividad propuesta por Pauling en 1932 “el poder o capacidad de un átomo en una molécula de atraer electrones hacia si mismo”<sup>7</sup> se hace necesario encontrar respuestas que describan porque razón los átomos tienen diferentes electronegatividades y en este caso las respuestas las hallaremos al observar la electronegatividad como una consecuencia de la carga nuclear efectiva.

La capacidad de un átomo en una molécula por atraer electrones hacia si mismo depende de la existencia de una carga de signo opuesta que ejerza dicha fuerza de atracción sobre los electrones, esta fuerza debe venir del centro de carga positiva del átomo el núcleo por tanto debe ser la variación en esta fuerza ejercida por el núcleo lo que da lugar a diferentes electronegatividades en los elementos, un análisis del llamado efecto de apantallamiento o apantallamiento nuclear por parte de los electrones nos lleva a establecer que dicha variación es debida a la presencia de una carga nuclear efectiva diferente de la carga nuclear real del átomo lo que da lugar a que la atracción de un átomo en una molécula hacia los electrones varíe en los diferentes átomos.

El primero en realizar un análisis sobre la electronegatividad y la carga nuclear efectiva fue Walter Gordy<sup>8</sup> quien en 1946 presento un trabajo en el que relacionaba la electronegatividad con la carga nuclear efectiva, según Gordy la electronegatividad dependía del potencial electrostático como lo llamo del núcleo sobre los electrones, específicamente sobre los electrones de valencia, dicho potencial era descrito por la expresión:

$$X = Z_{ef} / r$$

Por tanto entre mayor fuera la carga nuclear efectiva mayor seria el potencia y mayor seria la electronegatividad, Gordy realizo en su trabajo una simplificación, que para algunos autores como A. Skinner y H. Pritchard es excluyente, propuso que el apantallamiento debido a los electrones de los niveles de energía inferiores al nivel en el que se encuentran los electrones de valencia es completo y que por tanto al

---

<sup>7</sup> La versión mas reciente en la que se puede encontrar la descripción en un texto de autoría de Pauling es The Nature of the Chemical Bond 1960 referenciado en la bibliografía.

<sup>8</sup> Es de anotar que Gordy ha realizado varios trabajos enlistados en la bibliografía en los que describe y determina la electronegatividad usando varias propiedades atómicas.

analizar el valor de la carga nuclear efectiva se podrían excluir analizando solo los electrones de valencia:

$$Z_{ef} = n - 0.5(n-1) = 0.5n + 1$$

Donde 0.5 sería la constante de apantallamiento asignada por Gordy para los electrones de valencia, de esta forma el potencial electrostático sería:

$$X = 0.5n + 1 / r$$

El significado de dicho potencial electrostático está dentro de la propuesta de Robert Mulliken este describe el trabajo, la energía o la fuerza que se requiere para remover un electrón de un átomo (energía o potencial de ionización) y al mismo tiempo describe que tan firmemente están unidos los electrones de valencia de un átomo y que probabilidad hay de que los pierda o desplace parcialmente al entrar en contacto con otro átomo es decir si un átomo tiene un potencial electrostático mayor que otro átomo el primero será más electronegativo así que la fuerza de atracción de su núcleo por sus propios electrones es tal que le permite atraer electrones del otro átomo menos electronegativo lo que está acorde con la definición de Pauling, es de anotar que con la descripción de los trabajos de Louis Allred-Eugene Rochow y Robert Sanderson se hará una relación más profunda de la electronegatividad y la carga nuclear efectiva al igual que sus consecuencias, a continuación se indican algunos valores obtenidos por Gordy de electronegatividad como potencial electrostático.

En 1957 dos químicos Louis Allred y Eugene Rochow trabajando conjuntamente presentaron un escrito en el cual determinaban la electronegatividad basándose en la fuerza electrostática entre el núcleo y los electrones de valencia, su análisis describe la electronegatividad como el producto de la atracción entre la carga nuclear efectiva y los electrones de valencia pero dicha atracción es vista como la existente entre dos cargas puntuales es decir una atracción netamente de Coulomb, según el trabajo de Allred-Rochow la electronegatividad absoluta se podría determinar por medio de la siguiente expresión:

$$X = Z_{ef}^2 e / r^2$$

donde  $Z_{ef}$  es la carga nuclear efectiva,  $e$  es la carga del electrón y  $r$  es la distancia entre el núcleo y los electrones de valencia o el radio covalente.

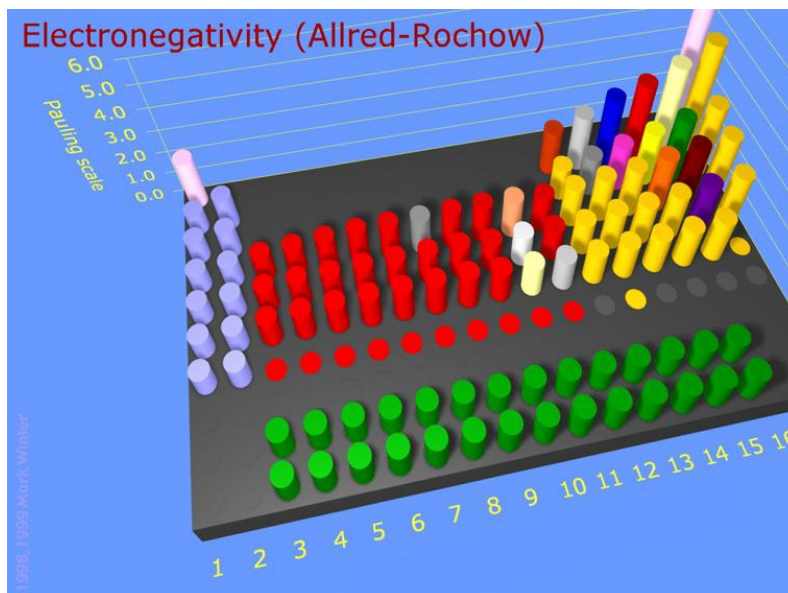
La electronegatividad desde el análisis de Allred-Rochow es consecuencia de la interacción entre los campos electromagnéticos asociados al núcleo y los electrones pero no solo a los de valencia ya que a diferencia de Gordy, Allred-Rochow toma en cuenta los electrones de los niveles inferiores al de valencia a la hora de determinar la carga nuclear efectiva (usando el método de Slater) sobre los electrones de

valencia. Los valores de electronegatividad obtenidos por Allred-Rochow están en acuerdo con la regularidad de los obtenidos por Pauling en su trabajo de 1932 y al igual que los de Gordy se pueden aproximar a estos por medio de la introducción de algunas constantes en la ecuación base (Figura 19.).

$$X = 0.359Z_{ef}^2 e / r^2 + 0.744$$

Las electronegatividades de Allred-Rochow están acorde con la definición de Pauling, entre mayor sea la carga nuclear efectiva mayor será la atracción sobre los electrones de valencia (al igual que en análisis de Gordy) y mayor será la electronegatividad, a diferencia el trabajo de Gordy en las electronegatividades de Allred-Rochow la distancia entre las cargas (tipo Coulomb) se hace mas importante y entre mas reducida sea mayor será la electronegatividad sin ignorar que dicha distancia depende también de esta carga nuclear efectiva por tanto en un elemento con electronegatividad alta la carga nuclear efectiva deberá ser lo suficientemente grande como para que desde el punto de vista de Allred-Rochow interactúe con el campo eléctrico asociado a los electrones de otro átomo en una molécula de tal forma que tenga la capacidad de atraerlo, como Pauling establece, hacia si mismo, pero que sucede en el caso contrario, un átomo con una electronegatividad baja (mal llamado electropositivo) su carga nuclear efectiva es pequeña de tal forma que no tiene la capacidad para interactuar con los electrones de valencia en forma considerable y la atracción de estos es demasiado débil dando lugar a que dichos electrones sean desplazados hacia otro átomo mas electronegativo en una molécula.

**Figura 19.** Modelo de barras electronegatividades de Allred-Rochow. Normalizadas a los valores de Pauling. *Incluye electronegatividades de los gases nobles.*



Fuente: Webelements.com

Es de resaltar que el método y análisis de las electronegatividades de Allred-Rochow es más aceptado que el de Gordy por lo que es comúnmente nombrado en trabajos relacionados sobre electronegatividad.

Robert Sanderson en 1952 presentó una propuesta que aunque criticada es muy interesante y ayuda a la hora de comprender muchos hechos de la química entre los que se puede incluir la naturaleza del enlace químico, se basa en la carga nuclear efectiva pero utiliza lo que él denomina la densidad electrónica (DE) la cual es igual a la relación entre el número de electrones de un átomo y su volumen covalente:

$$DE = Z / 4.19r^3$$

donde  $z$  es igual al número atómico (igual al de electrones en un átomo) y  $r$  es igual radio covalente, es de anotar que el volumen atómico de las densidades electrónicas de Sanderson depende de la carga nuclear efectiva es decir que en el análisis de Gordy y Allred-Rochow los elementos con electronegatividad grande serán elementos con un volumen atómico pequeño, o como Sanderson llama con un tamaño reducido (Sanderson 1988), y por lo tanto con una DE grande, esto nos permite relacionar la electronegatividad y las densidades electrónicas de Sanderson es decir que dichas DE pueden ser consideradas como medidas de electronegatividad<sup>9</sup> y esto fue lo que Sanderson presentó en su trabajo de 1952.

La DE de Sanderson entendidas como electronegatividades indican que entre más compacto sea un átomo mayor es su electronegatividad y relacionando esto con la definición de Pauling tenemos que los átomos con densidades electrónicas grandes son átomos con electronegatividad grande, en el primer escrito de una serie de tres en los que Sanderson presentó su trabajo indicó que estos átomos densos electrónicamente poseen en algún punto de su superficie un remanente de carga positiva (proveniente de la  $Z_{ef}$ ) la cual permite que estos atraigan electrones de otros átomos en una molécula lo cual está en concordancia con la definición de Pauling, pero que sucede cuando dicho átomo neutraliza su remanente de carga, al entrar un electrón a la nube electrónica de este átomo la repulsión entre los electrones aumenta y por tanto la carga nuclear efectiva disminuye, en un factor de 0.30 o 0.35 según las reglas de Slater, lo que hace que el átomo se haga menos compacto y por tanto su densidad electrónica disminuye, Sanderson argumenta que en este punto el átomo que inicialmente tenía una densidad electrónica grande, en cierto sentido inestable, ahora se ha hecho más estable disminuyendo su densidad electrónica, pero como hemos visto no todos los átomos tendrán densidades electrónicas grandes aquellos que por el contrario tienen densidades electrónicas bajas no tienen la capacidad de ser compactos, atraer con fuerza sus electrones, y menos de tener

---

<sup>9</sup> Esta correlación es aplicable en los periodos, en general los radios de estabilidad de Sanderson son mejor considerados como una medida de la electronegatividad desde su método.

un remanente de carga positiva, estos átomos en contacto con otros mas densos electrónicamente tienden a perder o desplazar sus electrones y esto según Sanderson también es un indicio de estabilidad ya que habrá un electrón menos que ejerza apantallamiento y la carga nuclear efectiva aumentara, aumentando la densidad electrónica, lo cual lleva a suponer que los dos átomos tienden a tener una densidad electrónica optima en la cual la fuerza de atracción del núcleo sobre los electrones es suficiente para mantenerlos retenidos y no ganar o perder más, es decir la densidad electrónica final es cercana a la que podría tener un gas noble siendo la razón por la cual estos elementos no son reactivos<sup>10</sup>.

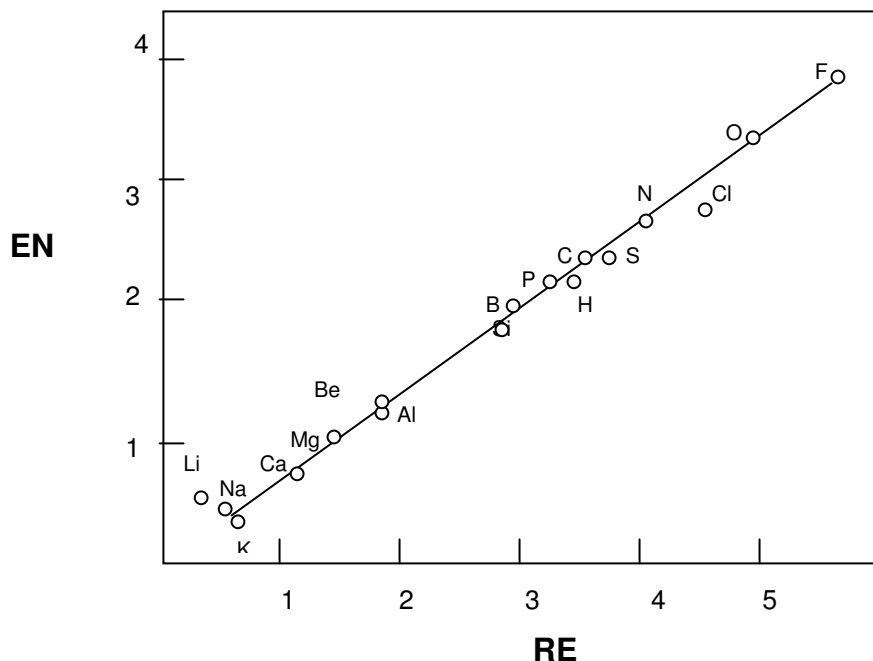
En relación a las densidades electrónicas de Sanderson, se encuentra que en general no hay una correlación entre la regularidad de los datos de electronegatividad de otros autores y las DE de Sanderson (Tabla 3) aunque esta claro que en un periodo la DE aumenta conforme aumenta la electronegatividad cuando se consideran elementos de otros periodos sus densidades electrónicas son mayores que las de los periodos predecesores, en términos de DE como electronegatividad se entendería que estos elementos son mas electronegativos que los de los periodos anteriores pero en realidad esto no es así, simplemente es consecuencia del aumento considerable en el numero de electrones, así como ejemplo si comparamos el Plomo con 83 electrones versus el Fluor con 9 electrones, con un radio covalente de 1.47 y 0.72 angstroms (Å) respectivamente, sus DE será 6.16 y 5.75 estos datos indicarían que el Plomo es más electronegativo que el Fluor pero en realidad esto no es así, es solo consecuencia del mayor número de electrones del Plomo (en un factor de 9.11 en relación al Fluor) lo que hace que el Plomo tenga una DE mayor, pero en términos de su capacidad de atraer electrones de otros átomos el Fluor tiene una mayor habilidad que el Plomo. Para solucionar este problema y que los datos de electronegatividad tuvieran una regularidad entre la mayoría de los elementos (al igual que con los otros métodos) Sanderson propuso que los elementos deberían llegar a un radio (tamaño), que el denomino Radio de Estabilidad (RE), el cual daría una estabilidad en su DE; así (como se indico en el párrafo anterior) los elementos electronegativos deberían aumentar su radio para adquirir una DE menor, y los elementos con electronegatividad pequeña deberían disminuir su radio para obtener una DE mayor, volviendo entonces al caso de Plomo y el Fluor el primero debería disminuir su radio y el segundo aumentarlo ( $RE_{Pb}= 3.67$ ,  $RE_F= 5.75$ ) esto lo lograrían ganando o cediendo, total o parcialmente, uno o más electrones, es de anotar que los elementos tienden a adquirir un RE cercano al de un gas noble lo que explica entre otras cosas la inercia química de los mismos como se indico en el párrafo anterior y la estabilidad ganada por los demás elementos<sup>11</sup>. Volviendo a la regularidad indicada de los valores de electronegatividad Sanderson propuso que los valores de RE, al cual deberían llegar los diferentes elementos, podrían ser considerados como valores relativos de electronegatividad gracias a que se encuentran asociados con la misma (Tabla 3). La Figura 20.

<sup>10</sup> Más adelante en esta sección se describirá más profundamente la inercia química de los gases nobles desde las DE.

<sup>11</sup> Más adelante en esta sección se describirá más profundamente la inercia química de los gases nobles desde las DE y los RE

representa la correlación entre los RE y las electronegatividades para los periodos 1, 2 y 3 de la tabla periódica.

**Figura 20.** Relación entre los radios de estabilidad (RE) y las electronegatividades.



Fuente: SANDERSON R. 1952.

Es de aclarar que entre las DE y RE existe una correlación cuando se analizan los elementos por periodos, un elemento con una DE grande tendrá un RE grande en relación a los demás elementos del periodo, al mismo tiempo entre los elementos de diferentes periodos existe una relación entre los RE, las DE y los radios covalentes, los elementos de los periodos superiores tendrán valores de radio covalente y DE menores, tanto en valor como en magnitud, en comparación a los elementos de los periodos inferiores, pero sus RE serán mayores, lo que indica que sus átomos serán más compactos (tamaño reducido de Sanderson) porque su  $Z_{ef}$  es mayor y por tanto su tendencia a atraer electrones también será mayor, esto es traducido en una electronegatividad más grande que la de los elementos ubicados en los periodos inferiores como lo indica los valores de RE, por otro los elementos de los periodos inferiores<sup>12</sup> presentan un radio covalente y DE mayor que los elementos de los periodos superiores, pero sus RE son menores, sus tamaños atómicos serán mayores por lo que su  $Z_{ef}$  será menor al igual que su capacidad de atraer electrones por lo tanto su RE es menor.

<sup>12</sup> Esto se puede ver parcialmente modificado por la contracción de los elementos de transición y de los lantánidos.

**Tabla 3.** Algunos valores de electronegatividad obtenidos por diferentes métodos.<sup>13 14 15</sup>

Elemento	Pauling <i>Termodinámica</i>	Mulliken <i>Electroafinidad y potencial de ionización</i>	Allred-Rochow <i>Fuerza electrostática</i>	Gordy <i>Potencial electrostático</i>	Sanderson		
					r	DE	RE
Ag	1.9	1.38	1.868	0.91	1.53	3.13	2.30
Al	1.5	1.81	2.022	1.48	1.18	1.88	1.94
As	2.0	1.75	4.064	2.04	1.19	4.67	3.91
Au <sup>I</sup>	--	1.78	--	0.92	1.50	5.59	3.39
B	2.0	2.01	3.516	1.91	0.82	2.16	2.84
Ba	0.9	--	0.637	0.93	1.98	1.72	1.20
Be	1.5	1.46	2.024	1.38	0.90	1.31	1.87
Bi	1.9	--	--	1.83	1.46	6.38	3.78
Br	2.8	2.76	5.559	2.68	1.14	565	4.53
C	2.5	2.63	4.878	2.52	0.77	3.11	3.79
Ca	1.0	--	0.829	1.03	1.74	0.91	1.05
Cd	1.7	1.4	2.003	1.13	1.48	354	2.59
Cl	3.0	3.00	5.820	3.00	0.99	4.19	4.93
Co	1.8	--	2.652	--	1.22	3.54	3.38
Cs	0.7	--	0.335	0.78	2.25	1.15	0.81
Cu <sup>I</sup>	--	1.36	--	0.96	1.38	2.66	2.43
F	4.0	3.91	9.356	3.94	0.72	5.75	5.75
Ga	1.6	1.95	3.000	1.48	1.26	3.70	3.23
Ge	1.7	--	3.547	1.77	1.22	4.20	3.59
H	2.1	2.28	--	2.17	0.37	--	3.55
Hg <sup>II</sup>	--	1.94	--	1.12	1.49	5.75	3.47
I	2.5	2.56	4.074	2.36	1.33	538	3.84
In	1.7	1.80	2.075	1.36	1.44	3.92	2.86
Ir	2.2	--	--	--	--	--	--
K	0.8	0.80	0.451	0.82	1.96	0.60	0.71
Li	1.0	0.94	0.633	0.96	1.34	0.30	0.46
Mg	1.2	1.32	1.334	1.16	1.30	1.30	1.30
N	3.0	2.33	6.483	3.01	0.75	3.95	4.49
Na	0.9	0.93	0.749	0.90	1.54	0.72	0.70
Ni	3.0	--	2.802	--	--	--	--
O	3.5	3.17	7.670	3.47	0.73	4.90	5.21
P	2.1	1.81	3.678	2.19	1.06	3.04	3.34
Pb <sup>IV</sup>	--	--	--	1.56	1.47	6.16	3.67
Pd	2.2	--	--	--	--	--	--
Pt	2.2	--	--	--	--	--	--
Rb	0.8	--	0.397	0.79	2.11	0.94	0.73
Rh	2.2	--	--	--	--	--	--
Ru <sup>III</sup>	--	--	--	--	--	--	--
S	2.5	2.41	4.715	2.58	1.02	3.62	4.11
Sb	1.8	1.65	2.993	1.82	1.38	4.68	3.337
Sc	1.3	--	1.280	1.30	1.44	1.68	1.88
Se	2.4	2.23	4.821	2.35	1.16	5.19	4.25
Si	1.8	2.44	2.762	1.82	1.11	2.46	2.62
Sn <sup>IV</sup>	1.7	--	2.708	1.61	1.41	4.28	3.10

<sup>13</sup> Valores obtenidos por diferentes métodos de cada autor, no normalizados a los valores de Pauling

<sup>14</sup> Para los valores de Sanderson se indican los radios covalentes (r), densidades electrónicas (DE) y radios de estabilidad (RE).

<sup>15</sup> FUENTE: PRITCHARD H; SKINNER A, 1955; ALLRED L, ROCHOW E 1958; SANDERSON R. 1952.

La información hasta este punto presentada permite realizar una descripción de la naturaleza del enlace químico desde el concepto de electronegatividad a partir de las cargas nucleares efectivas, es de anotar que antes de aplicar el concepto de electronegatividad indicado se describirá la naturaleza del enlace químico desde G.N. Lewis.

#### **4. EL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD Y EL ENLACE QUÍMICO.**

##### **4.1 El enlace químico desde Gilbert Newton Lewis.**

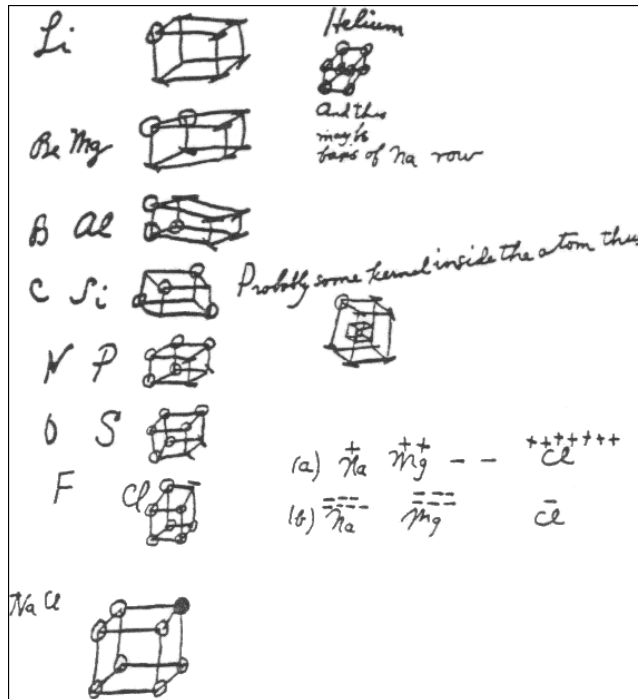
En 1918 un fisicoquímico Norteamericano llamado Gilbert Newton Lewis propuso brillantemente lo que hoy denominamos el enlace por pares de electrones y que posteriormente fue complementado con la regla del octeto (Figura 21.), según Lewis los átomos se enlazan por medio de pares de electrones que son compartidos o transferidos entre los átomos, es decir, analicemos la molécula mas sencilla que existe el  $H_2$  (Tabla 4.) , dos átomos de H la componen, pero para Lewis ¿como están unidos estos para la formar la molécula?, para responder debemos recordar el modelo atómico de Niels Bohr y la existencia de los llamados niveles de energía en el átomo, cada átomo de Hidrógeno tiene un electrón ubicado en el nivel de menor energía ( $n = 1$ ) y en el orbital mas simétrico (el s) su configuración electrónica será  $1s^1$ , al enlazarse según Lewis se compartirán un par de electrones a saber este par esta formado por el electrón de cada átomo de H este decir el electrón  $1s^1$  proveniente de cada átomo que forma la molécula, en este punto se obtiene el llamado par de electrones y los átomos según Lewis están enlazados compartiendo dicho par de electrones, ahora el interrogante es porque se comparte un par electrones y que sucede cuando un átomo tiene mas de un electrón para compartir?, es posible que comparta todos sus electrones?, o solo compartir algunos? y si es así cuantos?, la respuesta esta en la regla del octeto que propuso posteriormente, basado en los datos experimentales para los gases nobles o inertes se propuso que estos elementos deberían tener en su configuración electrónica, una distribución especial, que hiciera que estos no compartieran un par o pares de electrones con otros átomos y observo que esto podría ser debido a la existencia de ocho electrones en el ultimo nivel de energía, denominado nivel o capa de valencia, que presentaban estos átomos, a excepción del Helio que tiene dos, esta configuración electrónica presente en todos los gases nobles los haría estables e impediría que se unieran a otros átomos, esta es la llamada regla del octeto, todos los elementos tienen una tendencia a tener la configuración electrónica en la capa de valencia de un gas noble y en cierta medida ser químicamente similares a estos, es decir inertes, ahora podremos analizar desde este punto de vista la formación del  $H_2$  en primer lugar como se indico el enlace se da por medio de un par de electrones y según lo descrito recientemente el fin de la formación de este enlace es llegar a la configuración electrónica de un gas noble en este caso el Helio, por lo que el



Hidrógeno molecular es la excepción al igual que el helio en la formación de un octeto pero no en la tendencia a ser similar a un gas noble por parte del primero.

Que sucede con la propuesta de Lewis cuando un átomo tienen mas de un par de electrones por compartir, la regla del octeto debe ser cumplida y por lo tanto un átomo debe de compartir el número de electrones que sea necesario para esto por ejemplo considérese otra molécula de una sustancia muy conocida el agua  $H_2O$  como se vio el hidrógeno debe llegar a la configuración electrónica del Helio por lo tanto compartirá su electrón con el Oxígeno y este deberá compartir un electrón con el primero, pero que sucede con el Oxígeno que tiene en total 6 electrones por compartir, su configuración electrónica es  $1s^1 2s^1 2p^4$ , para tener la de una gas noble (explícitamente el Ne) el Oxígeno debe tener dos electrones adicionales en su configuración y esto solo lo puede lograr compartiéndolos en este caso con el Hidrógeno formando la molécula de agua, por tanto el Hidrógeno se enlazara por medio de una par de electrones con el Oxígeno obteniendo la configuración del Helio y el Oxígeno se unirá por un par de electrones a dos átomos de Hidrógeno obteniendo así ocho electrones en la capa de valencia y así se da lugar a la formación de un enlace químico según el modelo de Lewis.

**Figura 21.** Versión original del primer boceto en el que Lewis represento sus estructuras.



Fuente: Oesper Collection.

La propuesta de Lewis puede ser aun más clara si para su explicación se introduce las llamadas estructuras de Lewis (Tabla 4.), estas representaciones permiten observar los pares de electrones indicados en el teoría de Lewis y la origen de cada electrón involucrado en el enlace, los pares de electrones se representan por medio de una línea que une a los átomos y se les denomina electrones de enlace (línea de enlace), también se observa pares de electrones que no hacen parte del enlace estos se denominan pares de electrones no enlazantes o libres.

El modelo de enlace por pares de electrones predice aun la existencia de enlaces múltiples entre dos átomos homonucleares o heteronucleares (dobles o triples) por ejemplo el caso de la molécula de  $O_2$  para que cada átomo de O tenga un octeto electrónica en la capa de valencia como un gas noble (Ne) debe compartir dos electrones en dos pares de electrones como en el caso del  $H_2O$  en el cual comparte un par con cada átomo de H, pero que sucede en la molécula de  $O_2$  para que cada átomo de Oxígeno tenga un octeto tipo gas noble debe compartir dos pares de electrones uno con el otro y esto da lugar a la formación de un enlace doble entre los átomos de Oxígeno, con lo cual cada uno llegaría a ser isoelectrónico (tener la misma configuración electrónica en el nivel de valencia) con el Neón.

Al observar la variación de las configuraciones electrónicas por los periodos de la tabla periódica encontramos que por ejemplo el Nitrógeno requiere de 3 electrones para ser isoelectrónico a un gas noble, el Carbono 4, el Boro 5 hasta el Litio que necesita 7, como estos elementos llegan a ser isoelectrónicos a una gas noble, por el momento analicemos el caso de Nitrógeno y su muy estable molécula de  $N_2$ , el octeto de este átomo se logra por medio de la formación de un enlace triple los cuales experimentalmente se sabe que pueden existir y son el punto máximo en la multiplicidad de enlaces, tres pares de electrones son compartidos entre dos átomos su estructura puede ser observada en la Tabla 4.

Así el nitrógeno completa su octeto de gas noble, pero que sucede con los demás elementos, veamos al Li y Be necesitan 7 y 6 electrones y solo tienen uno dos para compartir respectivamente este problema se alivia completando el octeto por medio de la transferencia total de electrones y no compartiendo los presentes, es decir en el caso de litio se transfiere el electrón de valencia a otro átomo y este adquiere la configuración de un gas noble el Helio, lo mismo sucede con el Berilio pero este transfiere no uno sino dos electrones en un tipo enlace conocido como enlace iónico el cual se discutirá mas adelante.

El caso del Boro, en especial, es de importante interés porque es en este elemento donde la teoría de el enlace por pares de electrones para completar un octeto, específicamente este ultimo, ya no se cumple, dejando sin explicación la existencia de compuestos como el  $BF_3$  en el cual el Boro no completa su octeto electrónico

(octeto reducido), pero aun existen mas inconsistencias por ejemplo compuestos como el  $\text{PF}_5$  o el  $\text{SF}_6$  tampoco cumplen su octeto y el átomo central Fósforo y Azufre tienen mas de 8 electrones en su capa de valencia (octeto extendido), y son mas los ejemplos en los que compartiendo electrones un átomo puede tener un número mayor o menor de ocho electrones en su capa de valencia en especial cuando se consideran elementos de los periodos segundo, tercero etc de la tabla periódica, lo que permite deducir que la teoría de Lewis se cumple en los compuestos de los elementos de primer y segundo periodo de la tabla.

**Tabla 4.** Representación de algunas estructuras de Lewis.

Átomos sin enlazar	Átomos enlazados por $e^-$	Simplificación estructura
H·	H· ·H	H—H
$\begin{array}{c} \cdot\cdot \\ \text{:O: y H}\cdot \end{array}$	$\begin{array}{c} \cdot\cdot \\ \text{H}\cdot\cdot\text{O}\cdot\cdot\text{H} \end{array}$	H—O—H
$\begin{array}{c} \cdot\cdot \quad \cdot\cdot \\ \text{:O:} \quad \text{:O:} \end{array}$	$\begin{array}{c} \cdot\cdot \quad \cdot\cdot \\ \text{:O:}\cdot\cdot\text{:O:} \end{array}$	$\begin{array}{c} \cdot\cdot \quad \cdot\cdot \\ \text{:O}=\text{O:} \end{array}$
$\begin{array}{c} \cdot \quad \cdot \\ \text{:N:} \quad \text{:N:} \end{array}$	$\begin{array}{c} \cdot\cdot \quad \cdot\cdot \\ \text{N}\cdot\cdot\cdot\text{N} \end{array}$	$\begin{array}{c} \cdot\cdot \quad \cdot\cdot \\ \text{N} \equiv \text{N} \end{array}$
$\begin{array}{c} \cdot\cdot \\ \cdot\text{B: y :F:} \\ \cdot \end{array}$	$\begin{array}{c} \cdot\cdot \\ \text{:B}\cdot\cdot\text{:F:} \\ \cdot\cdot \end{array}$	$\begin{array}{c} \cdot\cdot \\ \text{:B} - \text{F:} \\ \cdot\cdot \end{array}$

La existencia de octetos incompletos o expandidos no son las únicas falencias de la teoría de Lewis, por ejemplo esta no explica la existencia de muchos de los compuestos de los metales de transición y transición interna, como los compuestos de coordinación entre otros, no indica una razón por la cual los átomos se pueden mantener unidos por medio de un par de electrones sabiendo que estos son de cargas del mismo signo y por tanto se puede repeler entre ellos bajo la acción de sus campos electromagnéticos, la distribución de los electrones entre los átomos según el modelo de Lewis no se ve diferenciada lo que indica que estos son compartidos por igual lo que en la realidad no es así, las estructuras de Lewis pueden generar confusiones ya que se supondría que los electrones son solo partículas puntuales estacionarias en el átomo y que en caso de los electrones no enlazantes o libres estos nunca harán parte del enlace lo que en la realidad se sabe que es totalmente diferente.

Hasta este momento se ha discutido la naturaleza de la unión entre los elementos por medio de enlaces químicos para formar compuestos desde punto de vista histórico hasta la propuesta muy interesante de Lewis que en cierta medida es de gran utilidad. Acerca de la naturaleza del enlace químico el primero en introducir la mecánica cuántica al estudio de los sistemas desde la química fue el gran químico estadounidense Linus Carl Pauling, quien basado en lo propuesta de Lewis inicio su trabajo para explicar ese interrogantes que tanto le agremiaba en su juventud a saber nuestro tema de estudio ¿porque lo átomos se unen? Pauling abrió la puerta a las modernas teorías que explican el enlace químico: La teoría del enlace de valencia, La teoría del orbital molecular, la teoría del campo cristalino, la teoría de bandas entre otros, estas no se discutirán aquí solamente indicaremos que son muy interesantes y que en general se basan en un entramado muy complejo pero a la vez exacto de cálculos matemáticos.

En este escrito se hará un análisis de la naturaleza de enlace químico desde un punto de vista sencillo en el cual los compuestos se forman gracias a la atracción entre los núcleos y los electrones lo que incluye al núcleo atómico en mayor proporción que las descripciones existentes y le da un papel muy importante en la química diferente al que tiene en la química nuclear, por lo tanto se hace necesario el conocimiento de los marcos teóricos que describen la interacciones electromagnéticas que hay entre el núcleo y electrones, y entre los electrones mismos como el efecto de apantallamiento, la carga nuclear efectiva y como a partir de estos se puede describir la electronegatividad y las densidades electrónicas las cuales nos permitirán comprender la naturaleza del enlace químico desde una perspectiva diferente, al igual que los tipos de enlace y sus propiedades.

A continuación se presenta una propuesta conceptual para comprender el enlace químico desde una perspectiva electrostática, al igual que los elementos teóricos necesarios para el entendimiento de la misma.

#### **4.2 Una observación más profunda a la naturaleza del enlace químico desde el concepto de electronegatividad descrito a partir de las cargas nucleares efectivas.**

Dos átomos experimentan entre ellos varias fuerzas entre las más importantes esta la atracción y repulsión electrostática, con base a lo indicado en las secciones anteriores podemos realizar una descripción de porque los átomos se unen formando un enlace químico (entendido como la naturaleza del enlace químico)

Analicemos el caso de la molécula de Cloruro de Hidrógeno gaseoso, suponiendo que el procesó de formación del compuesto es a partir de los átomos individuales,

obsérvese cada uno de los átomos: El hidrógeno tiene un electrón y un protón y es el único átomo en el cual no existe apantallamiento, por lo tanto la fuerza de atracción del núcleo sobre el electrón es igual a la unidad, pero existe la posibilidad que el núcleo atraiga a otro electrón, según las densidades electrónicas  $DE^{16}$  de Sanderson el hidrógeno se puede considerar que posee una densidad electrónica media entre los elementos con valor bajo y los densos electrónicamente, su electronegatividad por tanto será al igual media; El Cloro tiene 17 electrones ubicados en tres niveles de energía, de los cuales siete se encuentran en un mismo nivel de energía y el apantallamiento entre estos es mínimo, esto da al átomo de Cloro una Carga nuclear efectiva alta en comparación a los elementos que lo preceden en su mismo periodo y por tanto según Sanderson una densidad electrónica alta, que al compararla con el hidrógeno será mayor, esto le da al Cloro un remanente de carga, como indica Sanderson, que le permite atraer electrones con una fuerza que en este caso es mayor que la del hidrógeno. Que sucede cuando los átomos de hidrógeno y Cloro están cerca, en primer lugar como se indico los dos tienen la posibilidad de atraer electrones, pero uno mas que el otro, cuando los átomo se encuentren a una distancia que puede estar entre<sup>17</sup> 15-20 veces su radio covalente se da lugar a la interacción entre estos, tanto el átomo de Cloro como el de Hidrógeno atraen desde el núcleo positivo a los electrones negativos del otro átomo rápidamente se da lugar a la unión entre los átomos, pero ¿cual es la naturaleza de esta unión?, la fuerza con la que puede atraer electrones el átomo de Hidrógeno es tal que le permite atraer un solo electrón del átomo de Cloro, aclarando que es atracción más no desplazamiento del electrón, pero la fuerza de atracción del Cloro es mayor y le permite atraer fácilmente el electrón del Hidrógeno, en este punto se da lugar a una competencia por los electrones entre los átomos ya que los dos átomos quieren ganar electrones pero no los quieren perder y lo mas adecuado es llegar a un acuerdo, esto es lo que sucede, se da entonces una compartición de los electrones, es decir el átomo de Hidrógeno comparte su electrón siempre y cuando el de Cloro haga lo mismo con uno de sus electrones se forma entonces un enlace por pares de electrones como indicaba Lewis, tanto el Hidrógeno como el Cloro se encuentran atrayendo a un electrón adicional y el remanente de carga que hay en cada uno es cancelado. No olvidemos que uno de los átomos es mas denso que otro electrónicamente y su remanente de carga es mayor por lo que aunque se compartan los electrones este proceso no es tan equitativo y en realidad tiene un fin como tal, según Sanderson cuando un electrón entra a un átomo denso electrónicamente su densidad electrónica disminuye para acercarse a la de un gas noble real o hipotético, en este caso el Cloro tendra a ser similar, mas no igual, en densidad electrónica al Neon y por lo tanto con la atracción del electrón del Hidrógeno hacia si mismo tiene como fin ganar una mayor estabilidad de sus fuerzas electrostáticas disminuyendo su densidad, ahora el átomo de Cloro a equilibrado sus atracciones y repulsiones entre sus cargas y ya no existe fuerza de atracción que le permita interactuar con un electrón adicional.

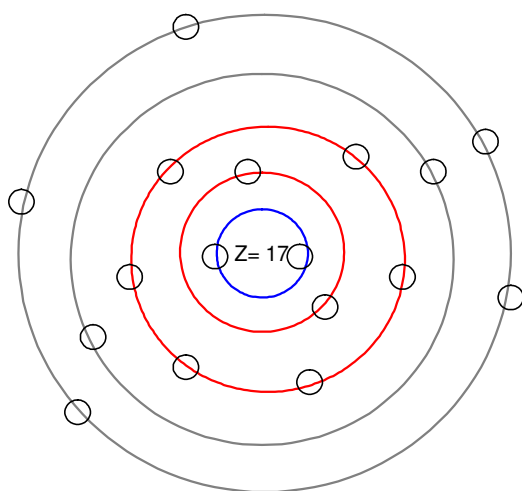
---

<sup>16</sup> Densidad(es) electrónicas

<sup>17</sup> Ver Romero O., Montero M

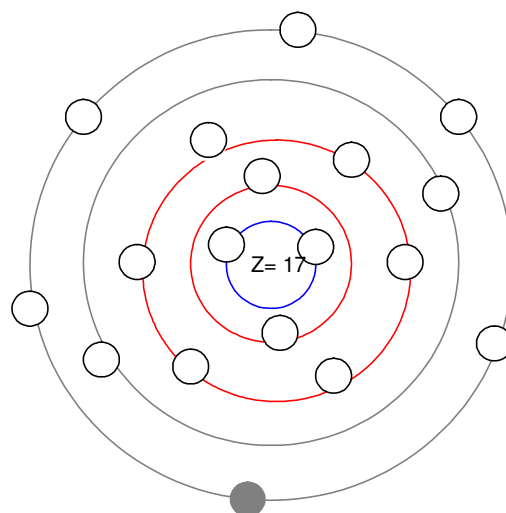
En este momento se hace oportuno aclarar porque los átomos tienden a tener la densidad electrónica de un gas noble, simplemente porque estos son inertes y su inercia radica en su densidad electrónica óptima: en estos elementos las diferentes fuerzas electrostáticas se ven balanceadas, el número de protones y electrones al igual que sus distribuciones (electrónica) hace que en estos átomos, en condiciones normales, haya una atracción entre cargas opuestas que no deje lugar a posibles remanentes de carga y no se tenga ninguna tendencia a ganar o perder electrones, en otras palabras la fuerza de atracción del núcleo por los electrones es suficiente para mantenerlos fuertemente ligados en el átomo sin posibilidad de ganar otros, este sería la razón por la cual en los elementos según Lewis se tiene la tendencia a llegar al octeto. Los demás elementos se acercan a la densidad de un gas noble pero como se indicó antes no sería igual a esta y en algunos casos, como en los de elementos de transición, esta sería la de un gas noble hipotético es decir una densidad de un elemento no existente.

**Figura 22.** Representación cambios en el Cloro al ganar parcialmente un electrón en el HCl.



Nube electrónica comprimida, alta repulsión entre los electrones, elevada densidad electrónica

Ganancia parcial de un electrón (color gris), disminución de repulsión, densidad electrónica cercana a la de un gas noble, ganancia de estabilidad.



Volvamos a la molécula de Cloruro de Hidrógeno, ¿que sucede entonces con el átomo de hidrógeno? y ¿como llega a ser mas estable?, como se indico en este la atracción entre el protón y el electrón es uno a uno aunque hay posibilidad de atraer otro electrón los electrones del Cloro están fuertemente ligados por este y la atracción de uno de ellos se hace mas complicada para el Hidrógeno, como su electrón es desplazado hacia el Cloro la fuerza del núcleo sobre este aumenta con el fin de impedir que sea desplazado totalmente y le permite atraer, mas no desplazar, a uno de los electrones del Cloro dando lugar al enlace y a una mayor estabilidad del hidrógeno debido a un balance en sus fuerzas electrostáticas (Figura 22).

La molécula de Cloruro de Hidrógeno es sencilla y se puede explicar su existencia como se indico, existen otras moléculas en la cuales los átomos se enlazan a mas de un átomo igual o diferente(heteronucleares), o moléculas en las que dos átomos enlazados son iguales (homonucleares), en los elementos de transición existe iones en solución acuosa y compuestos de coordinación, a continuación se explicara la existencia de estos compuestos basado en el mismo mecanismo anterior y se argumentara la existencia compuestos de los cuales el modelo de Lewis no da razón o no es aplicable.

En una molécula homonuclear el modelo de Lewis es totalmente aplicable los dos átomos tienden a tener una configuración electrónica de gas noble, por ejemplo en el  $F_2$  ambos átomos con configuración  $1s^2 2s^2 2p^7$  solo les falta un electrón para tener el octeto y lo consiguen formando la molécula diatómica de Fluor, desde el punto de vista electromagnético los dos átomos tienen la tendencia de tener una DE de gas noble, con una carga positiva remanente igual en cada uno de los átomo ambos tienen la posibilidad de atraer electrones por igual medida, al estar cerca uno del otro los átomos ejercen atracción sobre los electrones de la nube electrónica del otro a tal punto que se unen en enlace químico, al igual que el caso del cloruro de Hidrógeno se llega a un acuerdo para compensar las atracciones electrostáticas pero en esta caso la distribución de los electrones que comparten es totalmente equitativa y los dos átomos los atraen con la misma fuerza y al final llegan a tener una densidad electrónica cercana a la de un gas noble, los átomos adquieren mayor estabilidad y balance de su fuerzas electromagnéticas. Mas adelante se observara que aunque los átomos de los elementos adquieran una mayor estabilidad no son del todo inertes hasta el punto en el que se acercan lo mas posible a la DE de un gas noble.

Otro tipo de moléculas son las poliatómicas heteronucleares en las cuales un átomo central se une a dos o más átomos que pueden ser iguales o diferentes, consideremos el caso de la molécula de  $NH_3$ , el estado fundamental de los átomos de Hidrógeno ya se indico, para el caso del átomo de Nitrógeno tenemos que tiene 7 electrones de los cuales 5 se encuentran en un mismo nivel, a saber el nivel de valencia, en comparación con el átomo de Hidrógeno al igual que en caso de el Cloruro de Hidrógeno el Nitrógeno tiene una fuerza mayor que el Hidrógeno para atraer electrones adicionales, pero como indican los valores de DE esta es menor

que la del Cloro en el Cloruro de Hidrógeno lo que indica que los electrones del átomo de hidrógeno no se desplazan hacia el Nitrógeno como lo harían en el caso de la molécula de Cloruro de Hidrógeno hacia el Cloro, por lo tanto para que el nitrógeno alcance una DE que lo haga estable deberá enlazarse a más de un átomo de Hidrógeno en este caso se adquirirá la mayor estabilidad al unirse a tres átomos de Hidrógeno ganando parcialmente cada uno de los tres electrones de estos átomos y con ello adquiriendo un balance de sus fuerzas electromagnéticas, pero como es notable otros compuestos de Nitrógeno con elementos más electronegativos que el Hidrógeno en los cuales el primero es el átomo central son del tipo  $NY_3$  en el cual Y es otro átomo diferente a Nitrógeno ( $NF_3$ ,  $NCl_3$ ), el nitrógeno se encuentra unido a tres átomos y en estos casos comparte con ellos tres pares de electrones, según las DE ¿que permite que estos compuestos sean estables? El principio es el mismo, llegar a una densidad electrónica que haga a cada uno de los átomos en las moléculas más estables, la diferencia radica en que la estabilidad ganada en cada caso es diferente, por ejemplo en la serie  $NH_3$ ,  $NCl_3$ ,  $NF_3$ , la estabilidad crece en el orden indicado y esto se ve reflejado en la reactividad de cada uno de los compuestos.

En química inorgánica es muy interesante el estudio de los metales de transición más aun cuando se encuentra que estos tienen una tendencia a formar compuestos muy estables con un determinado estado de oxidación las DE pueden dar en parte razón de porque por ejemplo en la primera serie de transición encontramos que los estados de oxidación estables de los compuestos son:  $Ti^{+4}$ ,  $V^{+5}$ ,  $Mn^{+2}$ ,  $Fe^{+3}$ ,  $Cr^{+3}$ ,  $Co^{+2}$ ,  $Ni^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$ , esta regularidad es una consecuencia del llenado de los orbitales d en el nivel 3 de energía ( $3d^2-3d^{10}$ ) que da lugar a un aumento progresivo de la carga nuclear efectiva y en consecuencia un aumento de la DE, lo que lleva a que estos átomos tengan una fuerza mayor a la hora de mantener unidos sus electrones en el átomo y esto se ve reflejado en la disminución en la tendencia a perder o compartir electrones en un enlace químico, por ejemplo es muy conocida la química acuosa iónica de esta serie desde el Cr al Zn los cuales en solución forman los hexaacuocomplejos en los cuales el elemento ha perdido electrones y se encuentra en forma iónica en su estado de oxidación más estable, para que estos átomos en solución se encuentren ionizados es necesario que se encuentren en un estado en el que su DE es muy estable de lo contrario removerían electrones de las moléculas de agua que acomplejan a cada ion, una prueba más para las DE es que estos en estados de oxidación inferiores o superiores a los indicados tienden a llegar los más estables comportándose como agentes oxidantes ( $MnO_4^-$ ,  $CrO_4^{2-}$ ,  $Cr_2O_4^{2-}$ ,  $FeO_4^{2-}$ ) o reductores ( $Cr^{+2}$ ,  $Mn^+$ ,  $Fe^{+2}$ ,  $Co^+$ ) adquiriendo el valor DE más óptimo.

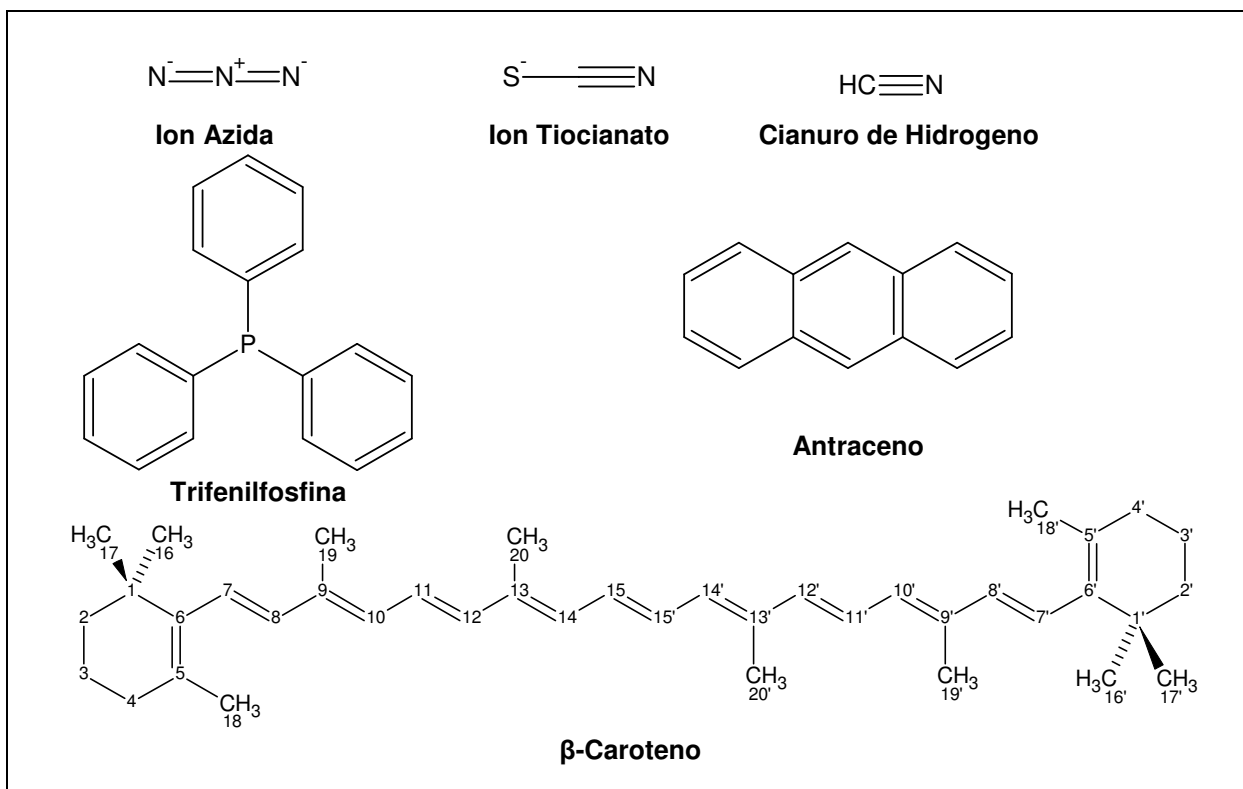
Son varios los casos que se pueden argumentar desde esta visión y que favorecen la propuesta de la naturaleza del enlace químico como producto de la atracción electrostática, teniendo que esta es la segunda fuerza más grande en el universo después de la fuerza nuclear.



### 4.3 Enlace químicos múltiples.

En la actualidad se sabe que existen enlaces múltiples (dobles y triples) en la serie  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ , (Figura 23) se encuentra un incremento en la multiplicidad de estos enlaces simple, doble, triple, pero como comprender el hecho de que dos átomos compartan más de un par de electrones, siguiendo el mismo principio, la idea central de esta propuesta es que en cada uno de los átomos de una molécula se balanceen las fuerzas electromagnéticas que en el actúan y esto se vea reflejado en una modificación de su densidad electrónica y una ganancia de estabilidad como ya se ha indicado, por tanto para argumentar la existencia de los enlaces múltiples debemos interpretarlos como una consecuencia del proceso hacia una mayor estabilidad, por ejemplo en el caso del  $O_2$  los dos átomos asociados deben compartir mas de un electrón, proveniente de cada átomo, para lograr neutralizar la carga remanente que pueda haber en los átomos individuales y adquirir mayor estabilidad, es de anotar que en este la fuerza sobre estos electrones será igual por cada uno de los átomos. Lo mismo se puede argumentar para el caso del Nitrógeno.

**Figura 23.** Representación de las estructuras de algunos compuestos orgánicos e inorgánicos que poseen enlaces múltiples.



Fuente: ACD/Chemsketch

#### 4.4 Tipos y propiedades de enlaces químicos.

Al observar los valores de carga nuclear efectiva para cada uno de los elementos de la tabla periódica encontramos que los metales alcalinos tienen valores de  $Z_{\text{Eff}}$  mucho más bajos que los encontrados para los Halógenos o la Familia del Oxígeno e intermedio de estos están los elementos de los grupos 13-15 al igual que los metales de transición, esto indica que la atracción sobre los electrones en cada uno de estos átomos es diferente y que como se puede observar en los datos de electronegatividad de a partir de  $Z_{\text{Eff}}$  la tendencia por atraer electrones de otros átomos es variada, esto da lugar a dos tipos principales de enlaces uno en el que los átomos comparten los electrones que los enlazan y otro en el que hay una transferencia neta de electrones entre los átomos formándose iones.

##### 4.4.1 Enlace covalente.

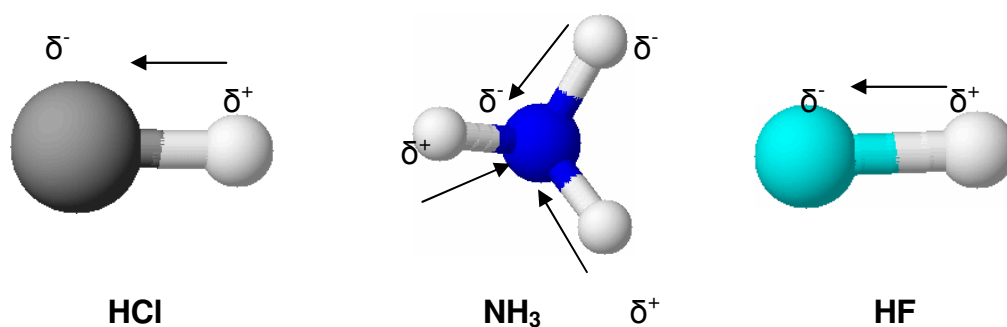
Cuando la diferencia entre las  $Z_{\text{Eff}}$  de dos átomos que están enlazados está entre 1.5-2 los átomos tienden a compartir los electrones por los cuales están unidos y sus electronegatividades son cercanas, con una diferencia que pueda estar entre 0-1.2, este tipo de compuestos se dice que están formados por un enlace covalente y su unión forma moléculas. La atracción por los electrones de cada uno de los átomos que forman un enlace covalente es similar aunque estos se ven más desplazados hacia el que tenga la mayor electronegatividad, es decir la mayor  $Z_{\text{Eff}}$ , entre los átomos se da entonces una competencia, como indicaba en secciones anteriores, por los electrones llegando al final a compartirlos.

Muchos autores expresan que cuando un compuesto está formado por la unión covalente entre sus átomos constituyentes este tiene como unidades estructurales fundamentales moléculas, debido a que estas pueden ser aisladas y estudiadas individualmente y como tal poseen propiedades que son producto de su unión covalente, como veremos más adelante en un compuesto iónico no es correcto describir como unidades fundamentales a las moléculas es decir este no está formado por moléculas. Dentro de las principales propiedades de los compuestos covalentes está; **la polaridad de enlace y molecular, la energía de enlace y la longitud de enlace** entre otras, la primera hace referencia a la distribución desigual de los electrones, la segunda a la energía liberada al formarse el enlace covalente, y la última a la distancia que hay entre el centro de los núcleos de dos átomos en la molécula, a continuación se hace una descripción de estas propiedades desde el modelo de atracción electrostática.

**La polaridad de enlace** es consecuencia de una atracción desigual de los electrones entre los átomos que se unen para formar una molécula, que da como

resultado la polarización parcial de la molécula dejando al átomo con mayor electronegatividad, mayor  $Z_{\text{Eff}}$ , con una carga negativa parcial sobre este y al átomo con menor electronegatividad con una carga parcial positiva, esto debido a que los electrones del par de enlace se encuentran más ubicados sobre uno de los dos átomos (electronegatividad), por ejemplo en la serie HCl, NH<sub>3</sub>, HF en el caso según las electronegatividades de Allred-Rochow los electrones del hidrógeno son desplazados hacia el átomo más electronegativo Cl, N, F respectivamente, por lo tanto estos adquirirán una carga parcial negativa y el Hidrógeno una positiva, es de anotar que en la serie el aumento de electronegatividad del Cl al F indica que estas moléculas están en orden ascendente de polaridad (figura 24). Cuando los átomos en una molécula comparten los electrones de una forma equitativa o con una desigualdad muy pequeña se da lugar a una molécula con ausencia de polaridad y se denomina apolar o no polar.

**Figura 24.** Representación de algunas moléculas y sus desplazamientos electrónicos. *Las flechas indican el desplazamiento de electrones.*



Fuente: ACD/Chemsketch

**La longitud de enlace** se define como la distancia que hay entre los centros de los núcleos de dos átomos en una molécula, esta distancia depende entre otros factores del tamaño de los átomos y de la fuerza con que cada uno atraiga los electrones con los que se encuentran enlazados, en primer lugar cuando dos átomos son de gran tamaño por ejemplo en el IBr sus nubes electrónicas son voluminosas y estos no se pueden acercar demasiado sin que se de una fuerte repulsión entre los electrones, por lo tanto es de esperar que la longitud de enlace entre estos dos átomos sea grande, pero adicional a esto tenemos que la fuerza con la que atraen los electrones estos átomos, en comparación uno del otro, es muy similar por lo que deben estar cerca uno de los otros para compartir por igual los electrones, esto da una disminución de la longitud que solo puede llegar hasta que se inicie la repulsión, por lo tanto la longitud será el resultado del equilibrio entre la repulsión de las nubes de electrones y la fuerza de atracción de los núcleos hacia los electrones. Pero que sucede cuando los tamaños de los átomos enlazados son pequeños? , antes de que

se de una repulsión significativa entre las nubes electrónicas los átomos se han acercado lo suficiente y si la atracción por los electrones es similar entre los átomos la longitud disminuye aun mas, considérese la longitud de estos enlaces H-F, F-O, N-H, C-H, P-H, en Anstroms 0.917, 1.41, 1.014, 1.093, 1.45, respectivamente se observa que entre menor sea la diferencia de sus electronegatividades mas cercanos están los átomos sin dejar de lado su tamaños y las limitación que estos generan.

Cuando se forma un enlace covalente entre dos átomos hay una liberación de energía, esta es conocida como **la energía de enlace** entre dos átomos en una molécula y es la misma que se requiere para romper el enlace entre los mismos, como tal no existe una respuesta clara al interrogante sobre donde proviene la energía liberada al formarse un enlace, pero siguiendo con lo propuesto por Pauling<sup>18</sup> en 1932 una descripción basada en las interacciones electromagnéticas entre los involucrados en el enlace puede dar razón a la existencia de la energía de enlace. La energía puede provenir de dos interacción tipo Coulomb la atracción y repulsión entre cargas, en primer lugar como consecuencia de las diferencias de electronegatividad que puedan haber entre los átomos enlazados en una molécula la distribución electrónica puede ser desigual generando, como se indico con anterioridad, cargas parciales en la molécula, Pauling en 1932 propuso que este efecto generaría una liberación de energía que el denomino energía iónica o extraiónica<sup>19</sup> la cual era el producto de la atracción tipo Coulomb entre las cargas parciales en la molécula. En segundo lugar cuando se forma un enlace un electrón adicional interactúa con los demas electrones de cada uno de los átomos en la molécula esto da lugar a una liberación de energía adicional producto de la repulsión tipo Coulomb entre los electrones.

Otros fenómenos adicionales pueden estar relacionados con la liberación de energía entre los cuales los mas importantes estarían relacionados con las modificación de los estados energéticos de los electrones en el átomo, en este caso solo se estudio los relacionados con las interacciones electromagnéticas. Como Pauling indico, lo cual es base de su escala de electronegatividad, entre mayor sea la diferencia de electronegatividad entre dos átomos en una molécula mayor es su energía de enlace esto se puede observar en la siguiente serie<sup>20</sup>; H-F, F-O, N-H, C-H, P-H en KCal/mol, 134.6, 45, 84.3, 90.8, 76.4, respectivamente.

#### **4.4.2 Enlace iónico.**

Al observar la carga nuclear efectiva del átomo de Fluor y la del átomo de sodio se observa una gran diferencia, en el Fluor con 9 electrones, 7 electrones ubicados en el nivel 2 de energía, se tiene que estos últimos son atraídos por el equivalente a

<sup>18</sup> Ver J. Amer. Chem. Soc. 1932, 54, 3570-3582, J. Chem. Edu. 1988, 65, 375, The nature of the chemical bond,

<sup>19</sup> Ver Pritchard h; Skinner a, , Chem. Rev. 1955, 55, 745-786

<sup>20</sup> Huggins L. J. Amer. Chem. Soc. 1953, 75, 4123-4126

una carga de  $+5.20e$  ( $Z_{\text{Eff}}$ ) distribuida en los 9 electrones, es decir cada uno de los electrones como consecuencia del apantallamiento de los electrones del nivel inferior y los del mismo nivel observa que en el núcleo hay 5.20 protones para atraer a los 9 electrones que tiene el átomo; ahora observemos el átomo de Sodio con 11 electrones ubicados 2 en  $n=1$ , 10 en  $n=2$  y 1 en  $n=3$ , tiene un carga nuclear efectiva igual a  $+2.20e$  la cual como se indico antes se reparte entre los 11 electrones. Un electrón de valencia en el átomo de Fluor es atraído por una fuerza debida a una carga de  $+0.577e$  y el electrón de valencia del Sodio es atraído por una fuerza debida a una carga de  $+0.2e$ , la diferencia es notable y las consecuencias también, al entrar en contacto un átomo de Sodio y uno de Fluor, este ultimo tiene la capacidad de atraer fuertemente al electrón de valencia del Sodio a tal punto que, debido a la débil fuerza con la que este es atraído por su núcleo, el Fluor puede desplazar totalmente el electrón hacia si mismo, formándose dos iones una cation de Sodio con carga  $+1$  y un anión de Fluor con carga  $-1$  ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{F}^-$ ), los cuales tienen una gran fuerza de atracción entre ellos el resultado es la formación de un compuesto en el que sus componentes están unidos por un enlace iónico.

En general se dice que dos elementos forman un compuesto y que este será iónico siempre y cuando la diferencia de electronegatividades este entre  $1.6 - 1.7$ , aunque existen muchas excepciones en especial en compuestos de los metales de transición en los cuales la diferencia de electronegatividades indica la presencia de un enlace iónico pero experimentalmente se tiene que el compuesto es covalente o viceversa.

Un enlace de tipo iónico es mucho más fuerte que uno covalente esto es debido a que la atracción entre los constituyente de este compuesto iónico es totalmente electrostática, es simplemente la atracción entre iones de carga opuesta, un ion sodio es rodeado por un número determinado de iones Fluoruro y viceversa, dicho número depende de los tamaños de los iones, en conjunto esta asociación da lugar a un estructura tridimensional compleja conocida como **estructura cristalina o red cristalina** (figura 25) y la energía que se requiere para separar los iones individuales se conoce como **energía de la red cristalina**. Al realizar un estudio de un compuesto iónico se hace imposible la separación de un ion Fluoruro unido a un ion Sodio individuales tipo molécula  $\text{Na-F}$  de los demas iones de la red, debido a que las denominación de una especie como molécula reside en que se pueda estudiar como unidad fundamental en un compuesto iónico no es valido hablar de moléculas, como algunos autores hacen, si no de red cristalina.

**Figura 25.** Representaciones de un cristal de  $\text{NaCl}$ .



## BIBLIOGRAFÍA

ALCOCK N; Bonding and structure, Ellis horwood, New York, 1990.

ALLRED L; ROCHOW E; A scale of electronegativity based on electrostatic force. Journal Inorganic and Nuclear Chemistry. 1958, 5, 246-268.

ALLRED L; ROCHOW E; Electronagativities of Carbon, Silicon, Germanium, Tin , and Lead. Journal Inorganic and Nuclear Chemistry. 1958, 5, 246-268.

ALLRED L; Electronegativity values from thermochemical data. Journal Inorganic and Nuclear Chemistry 1961, 17, 215-221

ASIMOV I. Breve historia de la química, Alianza editorial, España, 1994

CASTELLAN G. Fisicoquímica, 1 ed, Fondo educativo interamericano, México, 1974.

CHERMETTE H; LISSILLUOR R; L' electronégativité, et sa relation avec le concept de dureté-mollesse des acides et bases, L' actualité chimique, 1985 Avril 59-69

COTTON, WILKINSON, Química inorgánica avanzada, limuza editores, Mexico 1992.

EISBERG R. M, Fundamentos de Física Moderna, Limusa Editores 1973 Mexico

FRENCH A., TALYLOR E, Introducción a la Física Cuántica, Reverte 1982 España

GASABO J, Estructura Atómica y Enlace Químico, Reverte 1996 España

GIMARC B; Molecular structure and bonding, Academic press, 1979

GORDON B, Lectures of Quantum Mechanic, Benjamin INC 1969 united states of America

GORDY W; A relation between bond force constants, bond orders, bond lengths, and the electronegativities of the atoms. Journal Chemical Physics. 1946, 14, 305-319.

GORDY W; A new method of determining electronegativity from other atomic properties. Physical Review. 1946, 69, 604-607

GORDY W; ORVILLW T; Electronegativity of elements, Journal Chemical Physics. 1956, 24, 439-444

GUILLESPIE R; Molecular Geommetry, Van Nostrand reinhold company, London, 1972

HENDRICK F. Introduction to Quantum Theory, Harper y row Publishers 1967 united states of America

HINZE J; JAFFE H; Orbital electronegativity of neutral atoms I. Journal American Chemical Society 1962, 84, 540-546

HINZE J; JAFFE H; Orbital electronegativity of neutral atoms II. Journal American Chemical Society 1963, 85, 148-154.

HINZE J; JAFFE H; Orbital electronegativity of neutral atoms IV. Journal American Chemical Society. 1963, 85, 1501-1506.

HUGGINS L. Bond energies and polarities. Journal American Chemical Society. 1953, 75, 4123-4126

HUHHEY J; ALLEN L, The definition of the electronegativity and the chemistry of the noble gases. Journal Inorganic and Nuclear Chemistry. 1980, 42, 1523-1524.

ICZKOWSKI R; MARGRAVE J; Electronegativity, Journal American Chemical Society. 1961, 83, 3547-3551

JENSEN W, Electronegativity from Avogadro to Pauling Part 1, Journal Chemical Education. 1996, 73, 11-20

JENSEN W, Electronegativity from Avogadro to Pauling Part 2, Journal Chemical Education. 2003, 80, 279-287.

LAILER, MEISER; Fisicoquímica, 2 ed, CECSA, México, 1998.

LEVINE I. Química Cuántica, 5 ed, Prentice Hall, España, 2001

LIU HUAL; An improvement on the formula for group electronegativity. Journal Chemical Education. 1992, 69, 783-784.

MULLIKEN R; A new electroaffinity scale, Journal Chemical Physics. 195, 3, 585-591

PAULING L; The nature of the chemical bond, the single energy bond and the relative electronegativities of atoms. Journal American Chemical Society. 1932, 54, 3570-3582

PAULING L; The origin and nature of the electronegativity scale. Journal Chemical Education. 1988, 65, 375

PAULING L; The nature of the chemical bond, 3 ed, Cornell Univ, Press, Ithaca, NY 1960

PRITCHARD H; SKINNER A, The concept of electronegativity, Chemical Review. 1955, 55, 745-786

PETERSON R. TREAGUST D. Grade - 12- student's misconception of covalent bonding and structure. Journal of Chemical Education. 1989, 66, 459-460.

REYNER CAHAN, Química inorgánica descriptiva, 2 ed, Prentice Hall person education, México, 2000.

RUSSELL S. NGAI M. The role of the electron-density transfer and electronegativity in understanding chemical reactivity and bonding. Journal Chemical Education. 1996, 73, 123-129



SANDERSON R. Principles of electronegativity Part 1, Journal Chemical Education. 1988, 65, 112-118

SANDERSON R. Principles of electronegativity Part 2, Journal Chemical Education. 1988, 65, 227-231

SANDERSON R; Relation of stability ratios to Pauling electronegativities. Journal Chemical Physics. 1955, 23, 2467.

SANDERSON R; The stability of nonpolar covalent bonds. Journal Chemical Physics. 1952, 19, 535.

SANDERSON R; An interpretation a bond lengths is alkali gas molecules. Journal American Chemical Society. 1952, 74, 273.

SANDERSON R; Electronegativity in inorganic chemistry I. Journal Chemical Education. 1952, 29, 539-544

SANDERSON R; Electronegativity in inorganic chemistry II. Journal Chemical Education. 1954, 31, 2-7.

SANDERSON R; Electronegativity in inorganic chemistry III. Journal Chemical Education. 1954, 29, 238-244

SANDERSON R; A new periodic chart, with electronegativities, Journal Chemical Education. 1956, 33, 443-445.

SANDERSON R; An explanation of chemical variations within periodic major groups. Journal American Chemical Society. 1952, 74, 1927-1929.

SANDERSON R; Electronegativity and bond energy. Journal American Chemical Society. 1983, 105, 2259-2261

SANDERSON R; Carbon-Carbon bond lengths. Science. 1952, 116, 41-42.

SANDERSON R; Bond energies. Journal Inorganic and Nuclear Chemistry. 1966, 28, 1553-1565.

SANDERSON R; Multiple and single bond energies in inorganic molecules. Journal Inorganic and Nuclear Chemistry. 1968, 30, 375-393.

SANDERSON R; Chemical bonds and bond energy. Academic press inc, NY 1971.

SANDERSON R; Periodicidad química, Aguilar S.A. España 1964

SLATER J.C, Atomic Shielding Constants, Physical Review. Vol 36 July 1930 Pag 57

SLATER J.C, Quantum Theory of atomic structure Vol 1, Mc Graw Hill, United States of America. 1960

SOLVES J. VILCHES A. Análisis de la introducción de la teoría de enlaces y bandas. Enseñanza de las ciencias . 1991, 9, 53-58

STEVEN G; A group electronegativity method with Pauling units. Journal Chemical Education. 1985, 62, 101-103

STEVEN G; Revised Mulliken electronegativities. Journal Chemical Education. 1988, 65, 34-41

SUIDAN L; BANDENHOOP J; Common textbook and teaching misrepresentations of Lewis structure, Journal Chemical Education. 1995, 73, 583

TOWES H; DAILEY B; The ionic character of diatomic molecules. Journal Chemical Physics. 1954, 23, 118-123.

WEBSTER B; Chemical bonding theory, Blackwell scientific publications, Oxford, 1990.

**Anexo 2.** Instrumento de recolección de información.

**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE QUIMICA  
CONCEPCIONES SOBRE EL CONCEPTO DE ELECTRONEGATIVIDAD**

**Objetivo:** Identificar las concepciones que los estudiantes inscritos a un curso de teorías químicas IV, segundo semestre del año 2005, perteneciente al proyecto curricular para la formación de licenciados en química de la Universidad Pedagógica Nacional, poseen acerca del concepto de electronegatividad.

1. El concepto de electronegatividad ha tenido un desarrollo histórico que ha abarcado más de tres siglos; desde sus inicios en el siglo XVIII, pasando por el siglo XX en el cual adquirió su significado actual, hasta nuestros días. De las siguientes afirmaciones cual considera usted, posee relación con el desarrollo histórico e interpretativo del concepto de electronegatividad.

a.	El concepto de electronegatividad es producto del desarrollo histórico de la química en general, ya que ha estado involucrado en la evolución de las diferentes ramas de esta ciencia.
b.	El concepto de electronegatividad nace con los interrogantes sobre la afinidad entre las sustancias y la existencia del enlace químico, al mismo tiempo evoluciona a la par con este último.
c.	El concepto de electronegatividad aparece gracias al desarrollo de la periodicidad química.
d.	El inicio del concepto de electronegatividad se dio debido al surgimiento de los modelos atómicos.
e.	El concepto de electronegatividad surge con los trabajos de Linus Carl Pauling sobre enlace químico.
f.	No sabe /No responde

2. La siguiente tabla indica algunos de los principales científicos que participaron en el desarrollo histórico del concepto de electronegatividad, al igual sus correspondientes trabajos; relacione los números con el autor correspondiente:

Autor	Trabajo
1. Teoría eléctrica de la materia	__ Lothar Meyer
2. La escala de oxigenicidades	__ Amadeo Avogadro
3. Teoría del Calórico	__ Jons Jacob Berzelluis
4. Sistema Periódico	__ Humphry Davy
5. Entalpías de Reacción	__ Johannes Stark
6. Energía de Ionización	__ Jacobus Van't
7. Electrones y estructura atómica	__ Jhon Joseph Thomson

3. El concepto de electronegatividad fue definido en 1930 por Linus Carl Pauling como "la capacidad o poder de un átomo en una molécula para atraer electrones de otros átomos". Partiendo de la descripción del concepto de electronegatividad dada por Pauling cual de las siguientes afirmaciones considera son acordes a la misma:

a.	La electronegatividad es producto de la atracción electrostática ejercida por la carga nuclear efectiva ( $Z_{\text{eff}}$ ) de un átomo sobre los electrones de otros átomos, cuando estos hacen parte de una molécula.
b.	La electronegatividad de un átomo es una medida de su afinidad por los electrones de otros átomos.
c.	La electronegatividad es una tendencia que los átomos poseen por adquirir un estado electrónico estable (tipo gas noble), el cual logran por medio de la transferencia o desplazamiento de electrones.
d.	La electronegatividad es una medida de la tendencia de los elementos a combinarse para formar compuestos químicos.
e.	Ninguna de las anteriores.
f.	No sabe /No responde

4. En la actualidad existe un amplio número de escalas de electronegatividades cuyos valores relativos o absolutos se han determinado por diferentes métodos. A continuación se presenta algunos de los principales métodos, y sus autores, para determinar los valores de electronegatividad, indique con la letra correspondiente el autor de cada método.

Autor	Método
A. Robert Mulliken	<input type="checkbox"/> Orbitales atómicos e híbridos
B. Linus Carl Pauling	<input type="checkbox"/> Atracción electrostática
C. Walter Gordy	<input type="checkbox"/> Momentos dipolares
D. Louis Alred-Eugine Rochow	<input type="checkbox"/> Termoquímico
E. G.J. Malone	<input type="checkbox"/> Potencial de ionización y afinidad electrónica
F. Jürgen Ines	<input type="checkbox"/> Potencial electrostático

5. Indique cual de las siguientes opciones es la más adecuada para describir la relación entre la polaridad de enlace y la electronegatividad.

a.	La polaridad de enlace en las moléculas no depende de la electronegatividad.
b.	La polaridad de enlace es consecuencia del desplazamiento de electrones hacia el átomo con más afinidad por los mismos.
c.	La polaridad es el producto del desplazamiento de los electrones del elemento menos electronegativo al más electronegativo.
d.	Entre más grande sea la diferencia en las electronegatividades de los átomos enlazados, mayor será la proporción de la nube electrónica que rodea al átomo más electronegativo, y por tanto mayor será la polaridad de enlace.
e.	En una molécula A-B, la polaridad de enlace depende de la diferencias en la fuerza de atracción electrostática ejercida por los núcleos, de los átomos A y B, sobre los electrones.
f.	No sabe /No responde

6. Indique cual de las siguientes opciones es la más adecuada para describir porque el  $Mn^{+7}$  (en el ion  $MnO_4^{-1}$ ) se comporta como un agente oxidante.

a.	La fuerza de atracción del núcleo atómico del $Mn^{+7}$ es lo suficientemente grande como para atraer y remover electrones de otros átomos.
b.	El $Mn^{+7}$ es más electronegativo que el $Mn^0$ .
c.	Los estados de oxidación estables del Manganese son el $Mn^{+2}$ y $Mn^{+4}$ .
d.	El Manganese en el estado de oxidación +7 es químicamente demasiado inestable.
e.	Ninguna de las anteriores.
f.	No sabe /No responde

7. ¿Porqué el elemento Francio ( $Z=87$ ) posee la menor capacidad, de todo el sistema periódico, para atraer electrones de otros átomos cuando hace parte de una molécula?

8. ¿Considera usted que la electronegatividad de un elemento es una propiedad variable o invariable? Argumente su respuesta.

9. ¿Que es un enlace iónico, enlace Covalente puro y enlace covalente polar? Argumente su respuesta.

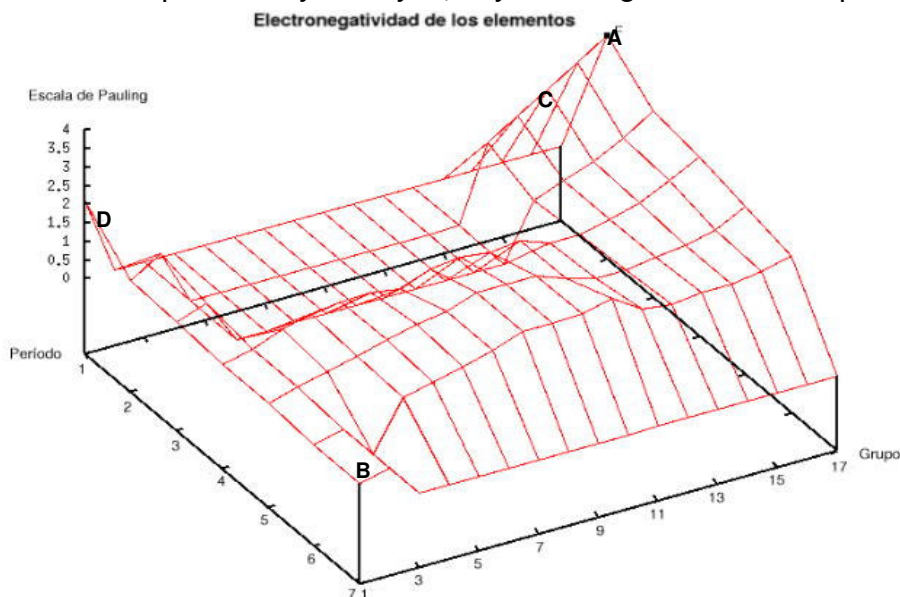
10. Describa que es el efecto de apantallamiento e indique tres ó más de las reglas de Slater para calculara la constante de apantallamiento de un átomo.

11. Calcule la carga nuclear efectiva ( $Z_{eff}$ ) de los siguientes elementos Na, P y Cl.

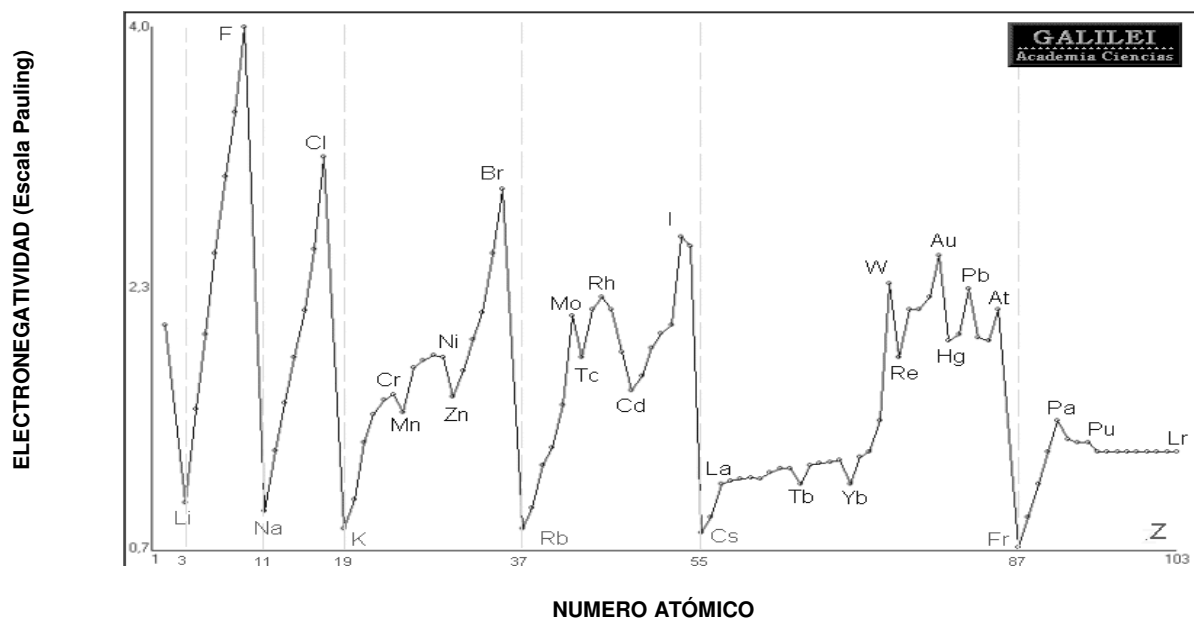
12. La siguiente figura representa la variación en la electronegatividad de los elementos químicos en el sistema periódico; Observe e indique:

a. ¿Como varia la electronegatividad en el sistema periódico?, que origina dicha variación.

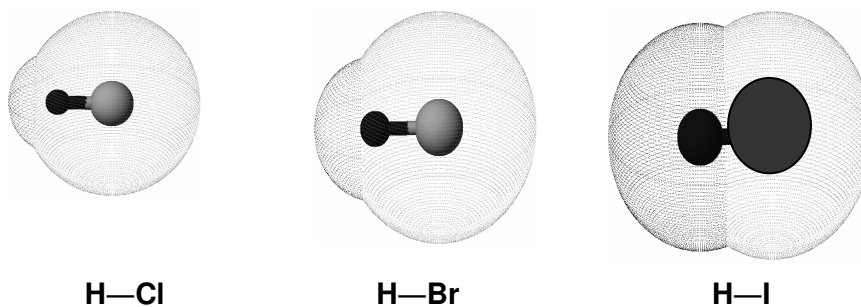
b. ¿Que tipo de enlace químico se forman por la unión entre los elementos ubicados en los puntos **A** y **B**, **A** y **C**, **A** y **D**? Argumente su respuesta.



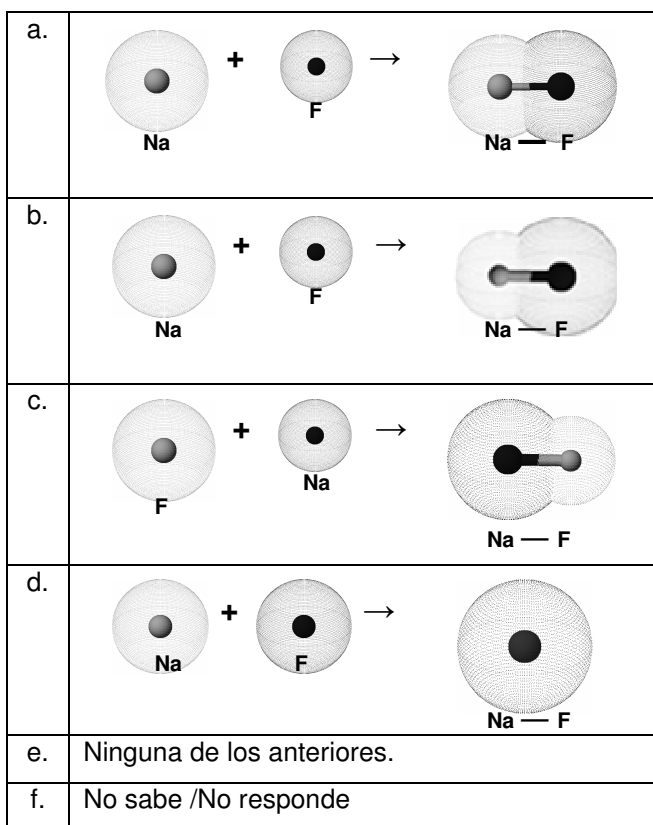
13. Observe el siguiente gráfico e indique tres aspectos relevantes del mismo.



14. El gráfico presentado a continuación esquematiza las moléculas de tres Haluros de Hidrógeno; describa las diferencias observadas en estas moléculas. Justifique sus respuestas.



15. Observe las siguientes figuras e indique cual representa la reacción entre los átomos gaseosos de Sodio y el Fluor. Argumente su respuesta.

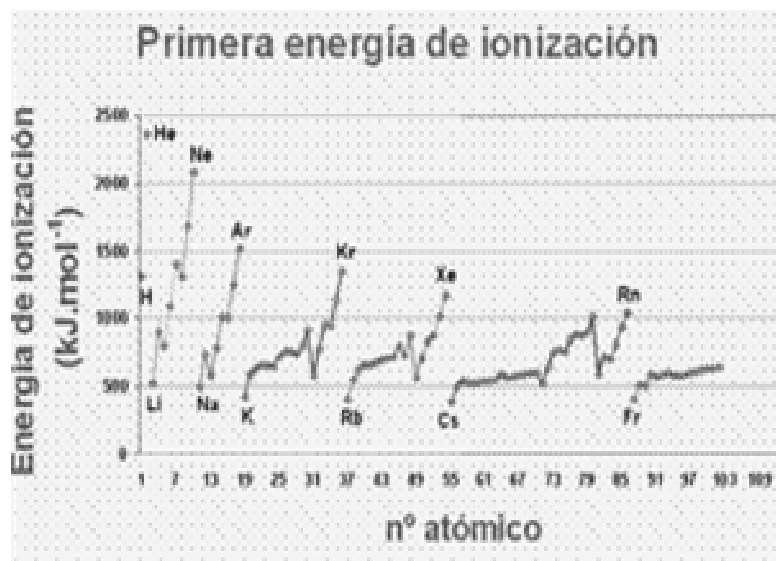


16. Clasifique los siguientes enlaces como iónicos, covalentes polares o covalentes puros. Justifique su respuesta.

Enlace	Tipo de enlace
Fr-Cl	Iónico__ Covalente: Puro__ Polar__
P-H	Iónico__ Covalente: Puro__ Polar__
H-Cl	Iónico__ Covalente: Puro__ Polar__
N-N	Iónico__ Covalente: Puro__ Polar__
Cs-F	Iónico__ Covalente: Puro__ Polar__

17. Con la ayuda del gráfico presentado a continuación responda los siguientes interrogantes:

- Como varía la energía de ionización de los elementos en el sistema periódico
- Que elementos poseen la energía de ionización más alta. Justifique su respuesta.
- Que relación existe la electronegatividad de un elemento y su energía de ionización. Argumente su respuesta



18. La siguiente figura representa el tamaño de algunos átomos e iones. ¿Qué relación existe entre la electronegatividad de un elemento y el tamaño de sus átomos e iones?

