

**UNA EXPERIENCIA DE INVESTIGACIÓN EN LA ENSEÑANZA  
DE LA ESTRUCTURA ATÓMICA**

**AN EXPERIENCE OF INVESTIGATION IN TEACHING  
OF ATOMIC STRUCTURE**

**Okulik, N.; Núñez, M.B.; Aguado, M. I.; Castro, E.\***

Facultad de Agroindustrias, Universidad Nacional del Nordeste. Cte. Fernández 755 (3700) Pcia. Roque  
Sáenz Peña, Chaco. Argentina

\* CEQUINOR (CONICET, UNLP). Departamento de Química. Facultad de Ciencias Exactas, UNLP. CC  
962 (1900) La Plata. Argentina.

e-mail: castro@dalton.química.unlp.edu.ar

**Resumen**

Se presentan los resultados de una investigación dirigida a encontrar alternativas para disminuir las dificultades en la enseñanza y aprendizaje de la estructura atómica. La efectividad de la enseñanza a través de un modelo de capas se puso a prueba con un diseño pedagógico en un grupo experimental y un grupo control. Los estudiantes del grupo experimental demostraron un mejor entendimiento de los conceptos, evidenciado por el desarrollo de capacidades referidas a la representación y la simbolización.

**Palabras Claves:** estructura atómica, evaluación, aprendizaje significativo, práctica docente

## Abstract

In this paper we present the results of an investigation carried out to try to find alternatives to lower difficulties in the atomic structure's teaching and learning process. The teaching effectiveness through the shell model was tested by means of a pedagogical design with two groups: the experimental and the control group. The experimental group students demonstrated a better understanding of concepts, since they developed abilities connected to representation and symbolization.

**Keywords:** atomic structure, assessment, significant learning, teaching practice

## Introducción

El concepto de orbital desempeña un papel sustancial en la química. Su uso se encuentra profundamente extendido tanto en el campo de la investigación básica como en el terreno del desarrollo y la aplicación [CASTRO y GUTMAN, 2000]. Sin embargo, el paradigma orbital está lejos de encontrarse bien establecido. Por el contrario, existen algunas polémicas acerca de la existencia de los orbitales [PAULING, 1992; SCERRI, 1992; OGILVIE, 1994] que, en definitiva, ponen de manifiesto el carácter relativo del concepto.

Aunque mucho se ha debatido acerca de la conveniencia de presentar los conceptos cuánticos en cursos introductorios de química [EDMISTON, 1988; SCERRI, 1991; GILLESPIE, 1996], actualmente hay coincidencia en que, dada su importancia, estos conceptos deben ser introducidos. Es el docente quien debe decidir la profundidad con que deberá ser presentado de acuerdo con los objetivos del curso.

El aprendizaje de gran parte de los contenidos de química coloca al alumno frente a numerosos conceptos cuya comprensión no sólo requiere un alto grado de abstracción sino que necesita del establecimiento de delicadas relaciones entre estos conceptos y los fenómenos bajo estudio. La introducción de conceptos teóricos, como átomo y molécula, considerados necesarios para interpretar las propiedades de la materia, conlleva dificultades en el aprendizaje dependiendo de la forma en que el alumno logra organizar los conocimientos. Comprender estos conceptos implica superar las concepciones basadas en la intuición y

en la idea de que las cosas son tal cual se ven. Supone lograr una interpretación de la realidad a partir de modelos y conceptos, que son construcciones abstractas, que ayudan a interpretar la naturaleza de la materia pero que no deben, necesariamente, ser tomados como entes reales.

La comprensión de la estructura atómica en el marco de la teoría cuántica requiere de la utilización de esquemas de cierta complejidad y del desarrollo de un paulatino proceso de construcción de conceptos. Según Pozo y G. Crespo, el núcleo conceptual del modelo corpuscular de la materia es el que más dificultades entraña para su aprendizaje [POZO Y GOMEZ CRESPO, 1998], fundamentalmente en lo que se refiere a la representación de fenómenos que no son accesibles a la observación. En estos casos el alumno, en general, carece de códigos de representación alternativos a los que surgen naturalmente de su percepción. Así, la enseñanza debe proporcionarle sistemas de representaciones que le permitan comprender adecuadamente el concepto. A través de la intervención pedagógica es necesario generar las condiciones adecuadas para que los esquemas de conocimiento que el alumno construye en el transcurso de sus experiencias sean lo más correctos y ricos posibles y susceptibles de dar lugar a la construcción de significados [COLL, 1996; AUSUBEL, NOVAK y HANESIAN, 1998].

Las configuraciones electrónicas de los átomos se derivan de los números cuánticos, los que se presentan a los alumnos como el resultado de resolver la ecuación de Schrödinger [GILLESPIE, SPENCER, MOOG, 1996]. Sin embargo, en los cursos introductorios de química la mayoría de los estudiantes no tienen la base matemática necesaria para resolverla y ver cómo los números cuánticos surgen de ella y, mucho menos, pueden llegar a comprender el significado de cada uno de ellos.

Un camino alternativo para introducir a los alumnos en los conceptos de niveles de energía en el átomo y configuraciones electrónicas es el *modelo de capas* ("shell model") [GILLESPIE, 1996]. Este modelo es simple desde el punto de vista conceptual y proporciona una adecuada descripción de la estructura atómica, características que permiten acceder de manera sencilla a una representación consistente en la evidencia experimental. El análisis detallado de las energías de ionización permite escribir las configuraciones electrónicas sin la introducción de los números cuánticos. Además, puede sentar bases sólidas en el esquema conceptual de los alumnos para una posterior descripción en términos de la mecánica cuántica, si ello fuera necesario.

En este trabajo se presenta una experiencia para la enseñanza de la estructura atómica desde dos perspectivas diferentes, con dos grupos de alumnos de cursos introductorios de Química. Con el propósito de determinar cuál de ellas permite obtener un aprendizaje más significativo, se evalúan los resultados obtenidos al desarrollar una secuencia de enseñanza basada en el modelo de capas en comparación con los que se obtienen con la enseñanza de los conceptos propios de la mecánica cuántica.

## Metodología

La secuencia de enseñanza y aprendizaje contempló actividades dirigidas a la exposición y adquisición de los conceptos a través de las siguientes fases:

- 1- una introducción para activar en los alumnos el conocimiento previo con el que se va a relacionar el nuevo contenido, actuando así de “puente cognitivo” entre ambos
- 2- la presentación del material de aprendizaje propiamente dicho, estructurado para captar el interés de los alumnos
- 3- la consolidación de la estructura conceptual, a través de la comparación y diferenciación entre conceptos, su ejemplificación y subsecuente aplicación
- 4- la resolución de un cuestionario para la recuperación de la información necesaria para la evaluación de los contenidos adquiridos

Para el estudio se adoptaron como unidades de análisis a los alumnos de dos cursos introductorios de Química Básica. La muestra del grupo experimental se constituyó con los alumnos de un curso en el cual se desarrolló el modelo de capas (N=16), y el grupo control, con los alumnos de otro curso en el cual la enseñanza se desarrolló utilizando los conceptos derivados de la mecánica cuántica (N=65).

La variable a conocer en cada unidad de análisis se definió como el *grado de asimilación de conceptos*

*relacionados con la estructura atómica* y la observación de la variable se realizó a través de tres dimensiones (subvariables): Interpretación, Representación y Simbolización, por lo que la respuesta a la variable depende de las respuestas a cada dimensión [SAMAJA, 1995]. El análisis de los datos se realizó utilizando procedimientos de estadística descriptiva (Ver Anexo 1).

El instrumento diseñado para la recolección de los datos contempló una serie de ítems que permitieran relevar la información respecto a la variable seleccionada y sus dimensiones. Se tuvieron en cuenta ejercicios que apuntaran no sólo a la recuperación de los contenidos conceptuales adquiridos sino también a los procedimientos que permitieran averiguar el modo en que se utilizan los conceptos en función de su grado de adquisición.

Se diseñó, en primer lugar, una serie de cuarenta ejercicios que fueron sometidos a la opinión de docentes del área de química. Los ítems de esta serie inicial fueron enmarcados en cada una de las dimensiones elegidas, sobre la base de las siguientes definiciones:

- Interpretar es explicar el sentido de una cosa. La interpretación hace referencia a la capacidad de comprender y explicar (mal o bien) un asunto.
- Representar es hacer presente una cosa, ya sea con palabras o con figuras que la imaginación retiene o desarrolla a partir de determinados elementos.
- Simbolizar es utilizar un ente (figura, conjunto de números y/o letras, etc.) con el cual se representa un concepto convencionalmente.

De la serie inicial de ejercicios y teniendo en cuenta las opiniones recogidas, se seleccionaron 10 ítems, de los cuales 3 responden a la dimensión Interpretación, 4 a la Representación y 3 a Simbolización (Ver Anexo 2). El instrumento contempló actividades basadas en el reconocimiento de una definición, actividades de identificación de situaciones relacionadas con un concepto, el uso de analogías, ejercicios en los que se requiere de la activación de conocimientos y habilidades apropiadas para cumplir con la consigna y tareas en las que se precisa de una interpretación personal del fenómeno bajo estudio.

## Resultados y discusión

### a. Comparación entre grupos

El test de Bartlett da un valor 1.044 ( $p = 0.71$ ) en el grupo experimental y un valor 1.001 ( $p = 0.99$ ) en el grupo control, lo que revela homogeneidad en las varianzas a un nivel de confianza del 95 % y permite validar los análisis estadísticos posteriores.

En la Tabla 1 se muestran los promedios correspondientes a cada uno de los ítems evaluados en ambos grupos, junto con la media general y los correspondientes errores estándar. Cada promedio, al ser la relación entre el número de respuestas correctas y el total de respuestas esperadas, constituye el índice de dificultad (ID) de cada ítem.

**Tabla 1:** Medias de las respuestas por ítem para el grupo experimental (N=16)

y el grupo control (N=65).

Item	Media por ítems	
	Grupo Experimental	Grupo Control
<b>1</b>	0.50	<b>0.32</b>
<b>2</b>	0.87	0.41
<b>3</b>	0.50	0.37
<b>4</b>	0.87	0.57
<b>5</b>	0.69	<b>0.32</b>
<b>6</b>	0.44	0.41
<b>7</b>	0.44	0.38
<b>8</b>	0.44	<b>0.32</b>

<b>9</b>	0.31	0.47
<b>10</b>	0.44	<b>0.34</b>
<b>Media general</b>	0.55	0.39
<b>Error</b>	0.12	0.06

Según los valores de las medias del grupo experimental, los ítems 2 y 4 han sido respondidos con relativa facilidad por los alumnos. El primero de ellos tiene que ver con la representación del átomo según el modelo de capas y el segundo, con la identificación del número atómico y el número másico y su simbolización. El ítems 9, dirigido a esquematizar la transformación de un átomo en un catión, resultó el de mayor dificultad. El resto de los ítems presentan valores medios de índice de dificultad. Los promedios para los ítems en el grupo control son notablemente inferiores a los obtenidos en el grupo experimental. Sólo el ítems 9 tiene un ID algo superior (0.47) al que corresponde al grupo experimental (0.31). Los valores obtenidos en los ítems dirigidos a evaluar un conocimiento más profundo de la distribución de los electrones en los distintos niveles y subniveles de un átomo, ponen de manifiesto que aún no se han superado las dificultades para realizar correctamente las configuraciones electrónicas en ambos grupos.

En la Tabla 1 también puede observarse que el ID promedio de la evaluación es mayor para el grupo experimental que para el grupo control. El intervalo de confianza para las medias del grupo control resulta mayor debido al número comparativamente menor de observaciones. Sin embargo, siendo 1 el rango de los datos, se considera aceptable el error en las medias calculadas para el grupo experimental. La dificultad inherente del tema en estudio hace que se consideren aceptables los valores globales del índice de dificultad obtenidos en ambos grupos, aunque debe destacarse la mayor dificultad revelada en el grupo control.

A los efectos de analizar si los mayores valores obtenidos en el grupo experimental pueden atribuirse solamente a alguna característica intrínseca de dicho grupo y no al efecto producido por las actividades desarrolladas según el modelo de enseñanza impartido, se realizó un contraste entre los resultados obtenidos en cada ítem por ambos grupos. La comparación de las medias, realizada utilizando

el test t, revela una diferencia significativa sólo en los ítems 2, 4 y 5 ( $p < 0.05$ ). Puede entonces afirmarse que, dentro de un nivel de confianza del 95%, los alumnos del grupo experimental no poseen características tales que condicionen los efectos logrados. Consecuentemente, las diferencias detectadas en un reducido número de medias, que tienen que ver con la capacidad de representación, pueden atribuirse al modo de enseñanza impartido.

### b. Análisis de cada dimensión en ambos grupos

Con el fin de analizar globalmente cada subvariable, se realizó un análisis horizontal resumiendo los datos de la matriz inicial a un único valor. Los valores de las medias en ambos grupos y el error estándar correspondiente se muestran en la Tabla 2.

-

**Tabla 2:** Valores de las medias y error estándar de las subvariables en los grupos experimental y control

Subvariable	Grupo Experimental		Grupo Control	
	Media	Error	Media	Error
Interpretación	1.37	0.22	1.05	0.11
Representación	2.37	0.26	1.57	0.13
Simbolización	1.75	0.17	1.32	0.08

Para la dimensión **interpretación**, la comparación de las medias indica que no es posible rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias por lo que se concluye que no hay una diferencia significativa entre las medias de la variable en ambos grupos a un nivel de confianza del 95 % ( $t=1.324$  con un valor

p= 0.189)

Para la subvariable **representación** y **simbolización**, la comparación de las medias indica que es posible rechazar la hipótesis nula de igualdad de las medias y aceptar la hipótesis alternativa. Entonces, se concluye que existe diferencia significativa entre las medias de la variable en ambos grupos en ambas dimensiones a un nivel de confianza del 95 % ( $t= 2.740$  con  $p= 0.008$  y  $t=2.033$  con  $p= 0.045$ , respectivamente).

En la Figura 1 (ver abajo) se muestran las medias y los intervalos LSD alrededor de cada una de ellas. Como puede apreciarse, no existe diferencia significativa entre las medias de la variable **interpretación** de ambos grupos y, tal como se observa por la falta de superposición de los intervalos de confianza, existe diferencia significativa entre las medias de la variable **representación** y de la variable **simbolización** de ambos grupos.

Estos resultados muestran que en ambos grupos las actividades dirigidas a lograr una interpretación de los conceptos relativos a la estructura atómica han producido efectos similares, aún cuando los contenidos se desarrollaron desde perspectivas diferentes. Sin embargo, el modelo de capas ha resultado una mejor opción para desarrollar habilidades dirigidas a representar y simbolizar, las cuales constituyen contenidos procedimentales que favorecen la adquisición de los contenidos conceptuales.

En la Figura 2 ( ver abajo) se representan las frecuencias relativas a los valores de cada dimensión en cada grupo, luego de la transformación a la escala cualitativa (Bien, Regular y Mal). El análisis del gráfico, si se acumulan las respuestas B y R, permite decir que para la subvariable **Interpretación** los resultados son favorables para el grupo experimental ya que, proporcionalmente, el porcentaje de unidades de análisis que alcanzan la calificación M es mayor en el grupo control. Resultados similares se obtienen para la subvariable **Representación** aunque las diferencias en las calificaciones B y M son más notorias. En el caso de la subvariable **Simbolización** la diferencia se establece en la

calificación B a favor del grupo experimental y prácticamente no existe diferencia en cuanto al valor M.

Con el objeto de obtener un único valor de la variable grado de comprensión, desagregada en las tres dimensiones, se integraron los respectivos valores utilizando un índice que permitiera asignar sólo dos posibles estados: Aceptable e Inaceptable. El grado de comprensión se considera Aceptable, cuando se alcance por lo menos un valor de Regular en cada dimensión.

En la Figura 3 (ver abajo) se muestra el comportamiento de los dos grupos de aprendizaje, evaluados a través de la frecuencia relativa de los valores de la variable en estudio. Como puede apreciarse, en la muestra en la cual se desarrolló el modelo de capas (grupo experimental) la mayor frecuencia de unidades de análisis con el valor Aceptable para la variable grado de comprensión revela que los resultados son mejores que en el grupo control.

## **Conclusiones**

Las respuestas del grupo control muestran que la enseñanza de la estructura atómica a través del modelo de la mecánica cuántica conlleva a insuficiencias epistemológicas y didácticas que constituyen la principal causa del escaso aprendizaje significativo alcanzado por los estudiantes. El comportamiento de la muestra experimental señala la posibilidad de superar estos inconvenientes a través de la promoción de aprendizajes según el modelo de capas.

La experiencia realizada revela que hay elementos suficientes para considerar más eficaz una metodología de enseñanza basada en los conceptos "derivados de la experiencia" y sustentada en modelos de representación más sencillos. Éstos no sólo proporcionan una adecuada descripción de la estructura atómica sino que, además, permiten sentar bases sólidas en el esquema conceptual de los alumnos para una posterior descripción en términos de la mecánica cuántica.

Siendo la enseñanza-aprendizaje un proceso a largo plazo, es necesario profundizar el estudio para

poder generalizar los resultados e indagar sobre los progresos realizados por los alumnos en etapas posteriores a su aprendizaje. Una posible perspectiva de este trabajo sería recoger información sobre el estado de los aprendizajes luego de un semestre de efectuada la intervención para contrastar estos resultados con los iniciales.

## Bibliografía

AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D. y HANESIAN, H. *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Trillas, México, 1998.

CASTRO, E. A. y GUTMAN, I “Mitos y realidades vinculados al concepto de orbitales”. *Ciencia*, en prensa.

COLL SALVADOR, C. *Aprendizaje escolar y construcción del conocimiento*. Paidós Educador, Buenos Aires, 1996.

EDMISTON, C. K. “The theoretical emperor is wearing the proper clothing!: A detailed defense of teaching quantum chemical ideas in undergraduate chemistry courses (PO)” *Journal of Chemical Education*, **65**, 219-221, 1988.

GILLESPIE, R.J.; SPENCER, J. N.; MOOG, R.S., “Electron Configurations from Experiment” *Journal of Chemical Education*, **73**, 617-636, 1996.

GILLESPIE, R.J.; SPENCER, J. N.; MOOG, R.S., “Bonding and Molecular Geometry without Orbitals-The Electron Domain Model” *Journal of Chemical Education*, **1996**, **73**, 622-627.

OGILVIE, J.F. *Conceptual Trends in Quantum Chemistry*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1994.

PAULING, L. “The nature of the chemical bond-1992” *Journal of Chemical Education*, **69**, 519-521,

1992.

POZO, J.I.; GÓMEZ CRESPO, M. A. *Aprender y enseñar ciencia*. Ediciones Morata, Madrid, 1998.

SAMAJA, J. *Epistemología y Metodología. Elementos para una teoría de la investigación científica*. EUDEBA, Buenos Aires, 1995.

SCERRI, E. R. “Chemistry, spectroscopy, and the question of reduction” *Journal of Chemical Education*, **68**, 122-126, 1991.

SCERRI, E. R. “The nature of the chemical bond-Once more (LTE)” *Journal of Chemical Education*, **69**, 602, 1992.

## **ANEXO 1:** Modalidad de tratamiento de los datos

Los datos se analizaron utilizando procedimientos de estadística descriptiva. La normalidad de los datos se verificó con un cálculo de curtosis, la homogeneidad de las varianzas con la prueba F de Fischer y el contraste de hipótesis se realizó con el test de Student (nivel de significación,  $\alpha=0.05$ ). La comparación múltiple de medias se realizó utilizando el método de la mínima diferencia significativa (Least Significant Difference, LSD).

## ANEXO 2: Evaluación Diagnóstica sobre Estructura Atómica

1. En las siguientes afirmaciones, tachar lo que no corresponda.

- A. El núcleo de un átomo esta cargado eléctricamente con signo (positivo / negativo) y en él hay (protones / electrones / neutrones). En cambio, las cargas eléctricas (positivas / negativas) están en la corteza del átomo, en donde los (protones / electrones / neutrones) giran alrededor del núcleo.
- B. En un átomo actúan fuerzas eléctricas, responsables de la atracción entre (protones / electrones / neutrones) y (protones / electrones / neutrones). También actúan fuerzas nucleares, responsables de la unión de los (protones / electrones / neutrones) y los (protones / electrones / neutrones) constituyentes del núcleo.
- C. Cada átomo tiene un numero de cargas eléctricas positivas (mayor que / igual a / menor que) el número de cargas negativas.

2. Explicar, utilizando algún tipo de representación, el modelo de capas para un átomo.

3. El modelo de Rutherford se llama a veces modelo planetario. Explicar en que consiste la analogía.

4. Completar la siguiente tabla :

Elemento	Z	A	Isótopo
Potasio			
	6		
			${}_{12}^{25}\text{Mg}$
Bromo			

5. Dibujar un modelo para el átomo de B sabiendo que posee 5 protones, 5 electrones y 6 neutrones.

6. ¿Cuántas subcapas hay en el tercer nivel principal de energía ? ¿Cuáles son ?

7. Empleando el principio de construcción progresiva (principio de aufbau) escribir las configuraciones electrónicas de los átomos de los elementos hidrógeno al carbono.

8. Completar la siguiente tabla con el número de electrones del átomo de Ne en su estado basal:

Capa						
	n=1	n=2		n=3		
	1s	2s	2p	3s	3p	3d
número máximo de electrones						
número total de electrones						

9. Esquematizar la siguiente transformación: Sodio  $\rightarrow$  catión sodio + electrón

10. Sabiendo que la configuración electrónica del aluminio es  ${}_{13}\text{Al} : [{}_{10}\text{Ne}] 3s^2 3p^1$ , indicar en qué orbital se ubicará el electrón diferencial del silicio. Realizar su configuración electrónica en casillas de Pauli.

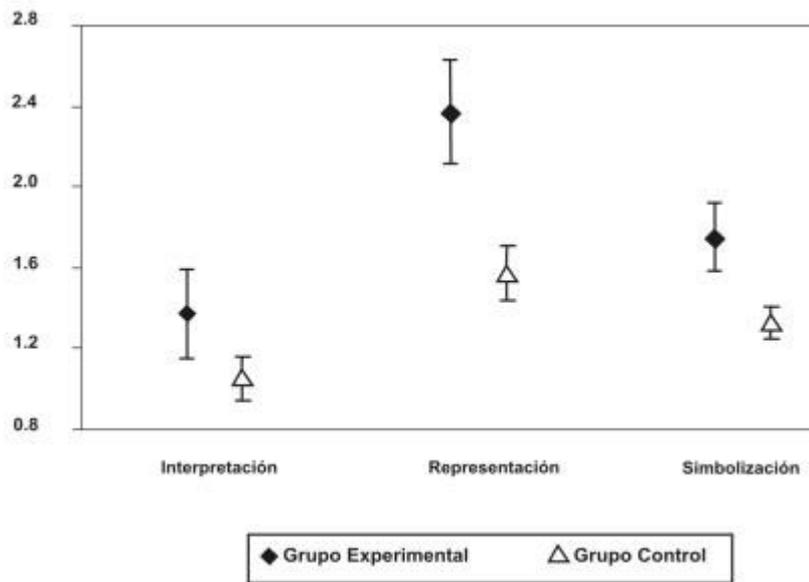


Fig. 1. Medias e intervalos de confianza para las dimensiones de las variables en los grupos estudiados

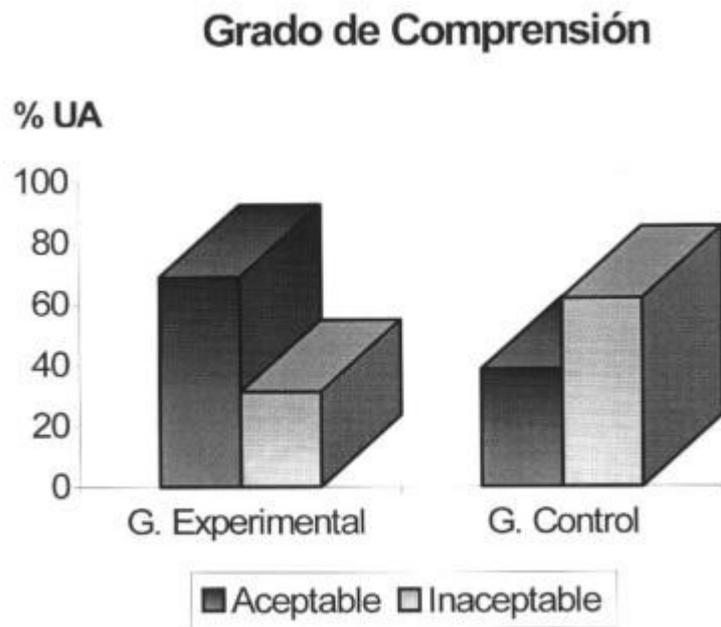


Fig. 2. Frecuencias relativas de los valores de cada dimensión en los grupos experimental (E) y control (C), en la escala cualitativa definida

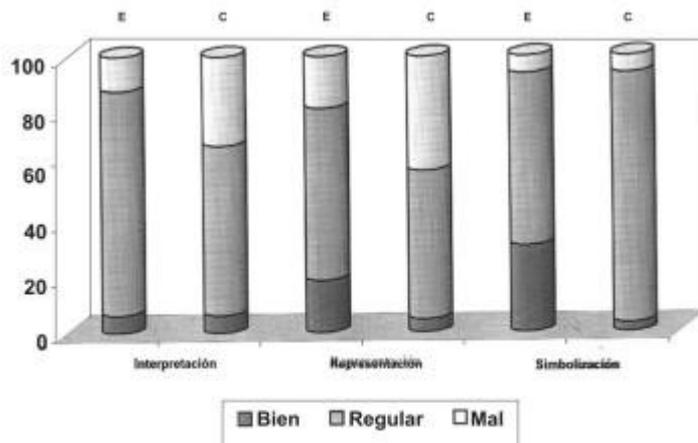


Fig. 3. Frecuencia relativa de los valores de la variable en las dos muestras bajo estudio