

INCIDENCIA DE LA TERMINOLOGÍA UTILIZADA EN LA APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE BANDAS SOBRE LA PRESENCIA DE UN ERROR CONCEPTUAL REFERIDO A LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS METALES. ESTUDIO EN DOS CURSOS INTRODUCTORIOS DE QUÍMICA EN LA UNIVERSIDAD

INCIDENCE OF THE TERMINOLOGY USED IN THE APPLICATION OF THE BAND THEORY IN THE PRESENCE OF A MISCONCEPTION REFERRED TO THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF METALS. STUDY IN TWO CHEMISTRY INTRODUCTORY COURSES AT THE UNIVERSITY

Oscar Héctor Pliego, Cristina Susana Rodríguez, Stella Maris Juárez

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Avda. Pellegrini 250, Rosario, Argentina
pliego@fceia.unr.edu.ar, cristina@fceia.unr.edu.ar, juarez@fceia.unr.edu.ar

Liliana Contini

Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Litoral. Paraje El Pozo, Santa Fe, Argentina.
lcontini@fbc.unl.edu.ar

RESUMEN: En cursos anteriores se detectó que los estudiantes asignaban erróneamente mayores valores de conductividad eléctrica a los metales que poseen mayor número de electrones de valencia con la energía de la comúnmente denominada «banda de conducción». Para superar este error conceptual se propone que, en los cursos de Química donde se aborden las propiedades de los metales, a los orbitales de banda se los denomine según la terminología de la teoría de orbitales moleculares (TOM), a saber: «orbitales de banda enlazantes» (OB^b), para el subgrupo de orbitales de menor energía, y «orbitales de banda antienlazantes» (OB^*), para el de mayor energía. La investigación se desarrolló en dos etapas: la primera, de diseño de instrumentos y exploratoria, desde 2007 al año 2009, y la segunda, de confirmación de resultados, en el año 2010. Los resultados indican que: *a*) los estudiantes aplicaron correctamente las teorías en la deducción de la fuerza del enlace metálico, y *b*) existen evidencias de asociación estadística altamente significativa entre la terminología empleada y las respuestas que los estudiantes generan, siendo significativamente superior la proporción de respuestas correctas en el grupo que usó la terminología de la TOM.

PALABRAS CLAVE: teoría de bandas, teoría de orbitales moleculares, orbitales enlazantes y antienlazantes, conductividad eléctrica de metales, metales.

ABSTRACT: In previous courses it was detected that students mistakenly assigned higher values of electrical conductivity of metals that have greater number of valence electrons with the energy of the commonly called «Conduction Band». To overcome this misconception it is proposed that in the Chemistry courses addressing the properties of metals, the Band Orbitals are named according to the terminology of the Molecular Orbital Theory, such as: «Band-bonding Orbitals», (OB^b), for the subgroup of lower energy orbitals, and «Band-antibonding Orbitals» (OB^*), for the one with most energy. This research was developed in two stages: the first, instruments design and exploration, from 2007 to 2009, and the second, confirmation of results, in 2010. The results indicate that: *a*) the students applied the deduction of metal bond strength correctly, *b*) highly significant statistical association evidence exists between the terminology used and the responses; being highly significant the proportion of correct answers in the group that used the Molecular Orbital Theory terminology.

KEY WORDS: band theory, molecular orbital theory, bonding-antibonding orbital, electrical conductivity of metals, metals.

Fecha de recepción: julio 2011 • Aceptado: agosto 2012

Pliego, O. H., Rodríguez, C. S., Contini, L. y Juárez, S. M. (2013) Incidencia de la terminología utilizada en la aplicación de la Teoría de Bandas sobre la presencia de un error conceptual referido a la conductividad eléctrica de los metales. Estudio en dos cursos introductorios de Química en la Universidad, *Enseñanza de las Ciencias*, 31 (2), pp. 193-207

INTRODUCCIÓN

Teorías y propiedades de los metales

Para explicar las propiedades de los metales pueden aplicarse la «teoría del mar de electrones» o la «teoría de bandas». La primera de ellas, formulada por Drude con las leyes de la física clásica, es más simple y, con ciertas limitaciones, permite abordar las siguientes propiedades de los metales: son buenos conductores de la corriente eléctrica, dúctiles, maleables y adsorben iones y moléculas polares (Pliego, 2008). Sin embargo, la única presentación correcta de los enlaces químicos presentes en los metales, a partir de la cual pueden explicarse las propiedades de los sólidos metálicos, la proporcionan los conceptos cuánticos de la teoría de bandas (Solbes y Vilches, 1991). Esta es una extensión de una teoría química, la teoría de orbitales moleculares (TOM) (Sutton, 1993) y puede ser aplicada con éxito a los sólidos cristalinos con enlaces químicos extendidos, a saber, metales, redes covalentes y compuestos iónicos (Kremer, 2002, 2001, 2000). Formulada con los conceptos de la física moderna, hace posible la construcción de una visión unitaria del enlace químico (Solbes y Vilches, 1991; García Franco y Garritz Ruiz, 2006), es más general y abstracta (Brown *et al.*, 2004; American Chemical Society, 2005; Atkins y Jones, 2006) y permite explicar, para los sólidos metálicos, entre otras, las siguientes cuestiones de interés en los cursos universitarios de Química General: efectos foto y termoemisivo, brillo, buenos conductores de la corriente eléctrica y la fuerza del enlace metálico. A su vez, y suponiendo la constancia de otras variables, el conocimiento de la fuerza de este enlace permite estimar cualitativamente otras propiedades, como las temperaturas de cambio de estado y la resistencia que los sólidos metálicos oponen a la tracción (Pliego, 2008).

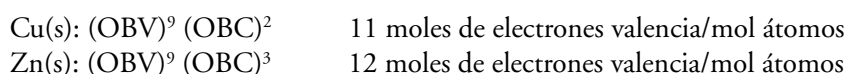
Según la teoría de bandas, y como indica la teoría de orbitales moleculares, producto de la combinación lineal de los niveles de energía de los electrones de valencia de los átomos individuales, «aparece» en el cristal una enorme cantidad de niveles de energía muy próximos. Son tantos, y de valores tan próximos, que su representación gráfica tiene la forma de bandas. Cada banda de energía está compuesta por un inmenso número de niveles de energía y, consecuentemente, de orbitales, a los que se denomina orbitales de banda (OB). El número de estos es igual al número de orbitales atómicos (OA) que le dieron origen. De todas las bandas de energía que se forman, solamente interesa estudiar la correspondiente a los niveles de energía más altos y es solo a ella a la que a continuación se hará referencia. Esta, a su vez, puede dividirse, según la energía, en dos subgrupos. En la bibliografía generalmente usada en los cursos básicos de Química (Whitten *et al.*, 1998; Smith, 2004; Domínguez Reboiras, 2006; Chang, 2007), así como también en textos en los que esta teoría se aplica (Solbes y Vilches, 1991; Borg y Dienes, 1992; Kittel, 2003; Makinistian y Albanesi, 2004; Casanovas *et al.*, 2005; Costa, 2005; Barrera *et al.*, 2007; Atkins y de Paula, 2008; Vivas Reyes *et al.*, 2008) y en los textos difundidos por las páginas web (Ganazhapa Jiménez, 2009), el conjunto de niveles de menor energía de esta banda recibe la denominación «banda de valencia» (BV), y el formado por los niveles más altos se denomina «banda de conducción» (BC). A cada una de esas bandas corresponden orbitales, a saber, «orbitales de banda de valencia» (OBV) y «orbitales de banda de conducción» (OBC). La asignación de energía para los electrones de valencia de los metales se establece según los mismos principios que permiten conocer la estructura electrónica de los átomos aislados, concretamente, los principios de mínima energía y de máxima multiplicidad. Las estructuras electrónicas de los diversos metales pueden ser resumidas en dos tipos: *a*) banda de valencia «incompleta» y banda de conducción «vacía», y *b*) banda de valencia «completa» y banda de conducción «semivacía» o «vacía». Además, en estos sólidos metálicos, contrariamente a lo que ocurre en semiconductores y aisladores, los niveles superiores de la banda de valencia coinciden con los niveles inferiores de la banda de conducción, es decir, no existe una «brecha prohibida» (*band gap*) de valores de energía entre una banda y otra (Borg y

Dienes, 1992; Sutton, 1993; Casanovas *et al.*, 2005; Rojas *et al.*, 2007). Así, la energía proporcionada por el campo eléctrico aplicado será suficiente para incrementar la energía de los electrones hasta los niveles más altos disponibles; esto es lo que determina la alta conductancia eléctrica de los metales.

Por ejemplo, las estructuras electrónicas correspondientes a los estados estacionarios de los átomos de cobre y cinc son:



Dado que estos elementos pertenecen al bloque «d» de la Tabla Periódica de los elementos químicos y poseen alta carga nuclear, la teoría prevé, por cada mol de átomos, la combinación lineal de 9 moles de OA, resultando la formación de 9 moles de OB con 4,5 moles de OBV y 4,5 moles de OBC. Para los sólidos metálicos cobre y cinc se tienen las siguientes estructuras:



(donde la letra «s» indica el estado sólido del elemento)

Ambas estructuras electrónicas presentan niveles superiores de energía libres y es así como puede explicarse, junto a la inexistencia de una brecha prohibida, que estos sólidos sean buenos conductores de la energía eléctrica.

El aspecto lingüístico

Varios investigadores (Solbes y Vilches, 1991; de Posada, 1997; Taber, 2001; Tsaparlis y Papaphotis, 2002; Falicoff *et al.*, 2003; Rivoldi *et al.*, 2004; García Franco y Garritz Ruiz, 2006; Matus Leites *et al.*, 2008) han identificado impedimentos de aprendizaje de la Química que pueden ser consecuencia directa de la manera como esta ciencia se enseña en el aula y de las formas mediante las que se presenta en los textos. Para el tema de los enlaces químicos y con el objetivo de disminuir las concepciones alternativas que se generan en el ámbito educativo, se han realizado una serie de sugerencias, entre ellas las de Solbes y Vilches (1991), en el sentido de reforzar la construcción de una imagen unificada del enlace químico mediante la aplicación de los conceptos cuánticos y los formuladas por Taber (2001), esto es, «enseñar enlaces químicos como conceptos eléctricos (no mágicos ni sociales)» y «tener cuidado con el lenguaje» que se aplica.

Junto a otros factores, los elementos lingüísticos operan fuertemente en el proceso de comunicación y, por lo tanto, deben ser tenidos muy en cuenta en las aulas; muchos autores (Galagovsky *et al.*, 1998; Borsese, 2000; Rouaux, *et al.*, 2006; Obaya, *et al.*, 2008), han concluido que la gran mayoría de las dificultades que presentan los alumnos para la comprensión y el aprendizaje de contenidos de las ciencias pueden atribuirse a factores lingüísticos, incluyéndose en ellos hasta el incorrecto uso del lenguaje corriente o cotidiano.

La importancia del lenguaje queda resaltada al constituirse en el mediador en los intentos de generar construcciones cognitivas entre los actores de los procesos de enseñanza-aprendizaje y, además, por ser el «vehículo de construcción de significaciones comunicables y compartibles solo cuando el aprendizaje mismo está cargado de significatividad» (Galagovsky *et al.*, 1998).

El lenguaje cotidiano, por su carácter ambiguo, polisémico y por contener significados connotativos, es insuficiente a la hora de formular los conceptos científicos (Gómez Moliné y Sanmartí, 2000). De acuerdo con esta insuficiencia, cada disciplina científica ha debido crear sus propios lenguajes, los

cuales, con sus características de correspondencia unívoca, significación e invariabilidad, permiten la expresión rigurosa de informaciones donde cada palabra tiene un único significado.

De acuerdo con Borsese (2000), «la comunicación no se realiza por medio de un solo lenguaje, sino por medio de una multiplicidad de lenguas», lo cual indica que pueden presentarse algunas complicaciones a la hora de intentar la comunicación debido a los diferentes significados que poseen las palabras en esos diferentes lenguajes. En el aula es conveniente que el lenguaje propio de la ciencia que se enseña se defina y desarrolle, no en el vacío, sino junto con los conocimientos de la disciplina (Borsese, 1997); por lo tanto, el lenguaje científico de la disciplina va surgiendo gradualmente a medida que la enseñanza avanza y deberá coexistir con los lenguajes ya aprendidos por los estudiantes en otras disciplinas y con el lenguaje de la vida cotidiana. Por ejemplo, en los cursos de Química cuyos estudiantes tienen, como los que aquí han participado, una fuerte formación básica orientada predominantemente a la física clásica y la matemática, podemos observar la coexistencia de estos lenguajes, lo cual genera no pocos ruidos en los canales de comunicación y deficiente construcción de significados, aunque ya poseen el significado de la palabra conducción eléctrica en el contexto clásico. Existe el riesgo de que el lenguaje del aula pueda conducir, en mayor o menor medida, a contenidos desprovistos de significación, sea porque el lenguaje disciplinar que se emplea esté muy alejado del lenguaje de la vida cotidiana que maneja el alumno y este no lo haya notado, y/o porque los contenidos disciplinares posean un alto nivel de abstracción y/o porque la transposición didáctica empleada por el docente no sea la adecuada (Galagovsky *et al.*, 1998; Galagovsky y Muñoz, 2002).

En la enseñanza del enlace metálico mediante conceptos cuánticos, que posibilitan alcanzar una imagen unitaria del enlace químico y, por lo tanto, la comprensión de los enlaces químicos presentes en los sólidos metálicos y sus propiedades, la construcción de los conceptos pertinentes al tema es muy dificultosa, pues los estudiantes de los cursos introductorios de Química en la universidad carecen de conceptos inclusores previos por ser una temática no desarrollada en la escuela media y, además, por el alto nivel de abstracción de estos conceptos, que se expresan en términos del nivel nanoscópico.

La siguiente secuencia temática, sugerida en parte por Solbes y Vilches (1991), puede ser considerada adecuada para los cursos introductorios de Química en la universidad y tiene el propósito de superar las dificultades antes mencionadas al perseguir la construcción de los conceptos inclusores cognitivos para un aprendizaje significativo del enlace metálico y su fuerza y, consecuentemente, para la comprensión de las propiedades de los metales: *a)* revisión de la estructura atómica y de las propiedades periódicas de los elementos químicos; *b)* introducción de los conceptos referentes a la cuantización de la energía de los electrones de los átomos y de los iones monoatómicos; *c)* aplicación de los conceptos cuánticos al enlace covalente apolar de las moléculas y determinación de sus niveles de energía mediante la aplicación de la teoría de orbitales moleculares (TOM), con sus orbitales moleculares enlazantes (OM^b) y antienlazantes (OM^*); *d)* aplicación de la TOM al enlace covalente polar de las moléculas; *e)* aplicación de la TOM y determinación de los niveles de energía para los enlaces covalentes deslocalizados de las moléculas con dobles enlaces conjugados, con la consecuente presentación de los orbitales moleculares deslocalizados enlazantes y antienlazantes; *f)* presentación del modelo estructural de los sólidos metálicos conteniendo cationes core carentes de movimientos de traslación y electrones de valencia deslocalizados; *g)* aplicación de la TOM a los sólidos metálicos, y *h)* extensión de la TOM para llegar a la presentación de la teoría de bandas y su aplicación a sólidos con enlaces químicos extendidos, sean estos buenos conductores de la electricidad, semiconductores o aisladores eléctricos. La adquisición del lenguaje de las ciencias no sucede al margen de los conocimientos científicos que se enseñan. De esta manera, en la secuencia antes descrita, la aparición de los términos y conceptos propios de la TOM, en su aplicación a los sólidos metálicos (orbitales enlazantes y antienlazantes y sus respectivos conjuntos de niveles de energía enlazantes y antienlazantes), es anterior a la aparición de los términos y conceptos *banda de valencia* y *banda de conducción* de la teoría de bandas.

Según Borsese (2000), «Hoy los químicos intentar evitar el simple etiquetado, consiguiendo individualizar, para los diferentes objetos, los términos que no deformen su realidad, sino que expresen del mejor modo posible su constitución». En ese sentido, para los estudiantes de los cursos universitarios introductorios de Química, los términos de la TOM (orbitales enlazantes y antienlazantes) podrían resultar más simples de comprender y, consecuentemente, constituirse en referentes cognitivos, porque describen de mejor modo la constitución de las diferentes bandas de niveles de energía de los sólidos con enlaces químicos deslocalizados.

Antecedentes de esta investigación

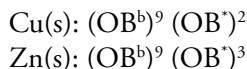
En los cursos universitarios de la asignatura Química General desarrollados en el año 2007, con los estudiantes de las carreras de distintas ingenierías de esta facultad (eléctrica, electrónica, industrial y mecánica) se aplicaba la terminología OBV-OBC para designar, respectivamente, a los orbitales de banda de valencia y a los orbitales de banda de conducción. En ese tiempo se tomó conciencia de que los estudiantes, dentro del marco conceptual de la teoría de bandas, asignaban erróneamente mayor valor de conductividad eléctrica a aquellos metales con mayor cantidad de electrones de valencia cuyos valores de energía corresponden a los orbitales de banda de mayor energía, OBC. Estas informaciones surgían de escuchar a los propios estudiantes interaccionando entre sí o con los propios docentes de la asignatura en las actividades formales (coloquios o consultas individuales o grupales).

A partir de este reconocimiento, se aplicó un instrumento con preguntas específicas y, consecuentemente, se procedió al registro de las respuestas. En los comienzos los registros fueron parciales: de un total aproximado de 900 estudiantes, se constataron 173 casos en los que el error estaba presente. Los propios estudiantes se encargaron de explicar el origen de su razonamiento erróneo: concretamente, entre otras razones, la mayoría de ellos asignaban mayor conductividad eléctrica al sólido metálico con mayor cantidad de electrones de valencia con la energía de los orbitales de la banda de conducción, OBC, porque el propio nombre de esos orbitales así se lo sugería.

De acuerdo con ello, en el curso desarrollado en el primer semestre del año 2008, decidimos presentar el tema de los metales y del enlace metálico de manera tal que pudiese detectarse la presencia del mencionado error conceptual, y obtuvimos resultados similares a los ya conocidos en años anteriores (Rodríguez *et al.*, 2009). Uno de los objetivos de este curso de Química es explicar las razones por las que los metales son buenos conductores de la electricidad, pero, contrariamente, no es el objetivo de este deducir qué metal es mejor conductor que otro, por estar así definido para esta asignatura por los planes de estudio vigentes de las carreras universitarias que se cursan en esta facultad. Sin embargo, la toma de conciencia antes mencionada impactó fuertemente en los docentes de la asignatura ya que, si bien no es un objetivo del curso que el estudiante deduzca o explique el mejor o peor carácter conductor de un metal u otro, no puede aceptarse la presencia de este error conceptual que, de seguro, significaría en las asignaturas posteriores mayores inconvenientes conceptuales.

Por ello se decidió investigar el posible origen del error conceptual. Al respecto, una de las posibilidades podría estar centrada en el propio nombre con el que se hace referencia a los orbitales de la banda de niveles más altos de energía, concretamente orbitales de la banda de conducción, y esto ha constituido la hipótesis de este trabajo.

Para ponerla a prueba se ha tenido en cuenta que la teoría de bandas es una extensión de la TOM y, por lo tanto, sería razonable utilizar la terminología de ésta, a saber, para los orbitales de menor energía de la banda «orbitales de banda enlazantes», OB^b, y para aquellos de mayor energía «orbitales de banda antienlazantes», OB^{*}. De esta forma, las estructuras electrónicas de los cristales de los metales cobre y cinc podrían describirse como sigue:



Ambas estructuras electrónicas presentan niveles superiores de energía libres y es así como puede explicarse, junto a la inexistencia de una brecha prohibida, que estos sólidos sean buenos conductores de la energía eléctrica. Además, estas estructuras muestran que el enlace metálico en el sólido cobre es más intenso que en el sólido cinc, ya que este presenta mayor cantidad de electrones en niveles antienlazantes, concretamente, un mol de electrones antienlazantes por cada mol de átomos.

Si con la aplicación de la terminología $\text{OB}^b\text{-OB}^*$ se lograra una proporción significativamente mayor de explicaciones y argumentaciones correctas, habríamos validado nuestra hipótesis. A finales del año 2008, nos dispusimos a diagramar la investigación, que tuvo lugar en el año 2009, y en el año 2010 se realizó la repetición de la experiencia.

OBJETIVOS

Para los estudiantes de las cohortes 2009 y 2010:

- conocer si se comprenden y aplican adecuadamente los conceptos de la teoría de bandas referidos a la fuerza del enlace metálico;
- comprobar si se presenta el error conceptual antes mencionado;
- demostrar que el uso de la terminología $\text{OB}^b\text{-OB}^*$ induce a una mayor frecuencia de aparición del error conceptual que la terminología $\text{OB}^b\text{-OB}^*$.

METODOLOGÍA

Curso 2009

La investigación se realizó con la totalidad de los estudiantes ($n = 216$) de la asignatura Química General en el primer semestre del año 2009. El curso se desarrolló en 16 semanas a razón de 6 horas cada una y actividades extracurriculares de laboratorio, integración y consultas. Los estudiantes pertenecían al tercer semestre de las carreras de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Mecánica y al cuarto semestre de la carrera de Ingeniería Industrial y ya habían cursado las asignaturas Análisis Matemático I y II, Álgebra y Geometría I y II, Sistemas Gráficos, Informática I y II y Física I.

En relación con los contenidos conceptuales inherentes a esta investigación, se aplicó la secuencia temática, descrita en la introducción, con una duración total de 18 horas en el aula; la teoría de bandas fue presentada utilizando la terminología tradicional $\text{OB}^b\text{-OB}^*$ y simultáneamente se aplicó la terminología $\text{OB}^b\text{-OB}^*$ de la TOM. Además, quedó establecido que, en sus argumentaciones, los estudiantes podrían utilizar libremente cualquiera de las terminologías y que la elección de una u otra vendría determinada por cuál de ellas les resultara más simple o comprensible.

Para cumplir con el primer objetivo, conocer si estos estudiantes comprendían y aplicaban adecuadamente los conceptos de la teoría de bandas referidos a la fuerza del enlace metálico, se tuvieron en cuenta las respuestas que dieron, en la primera evaluación escrita de acreditación de la asignatura, a la siguiente cuestión:

Ítem 1: «Aplicando la teoría de bandas de los sólidos, compare la fuerza del enlace metálico presente en los metales cobre y cinc».

Para cumplir con los siguientes objetivos, comprobar la presencia del error conceptual mencionado y estimar o no que el uso de la terminología OBV-OBC induce a una mayor frecuencia de aparición del error conceptual que la terminología OB^b-OB^{*}, se realizaron las siguientes acciones:

- a) durante el desarrollo de los procesos de enseñanza y de aprendizaje se elaboró un registro de las respuestas de los estudiantes a las actividades formales, los coloquios, las consultas grupales y las entrevistas;
- b) se tuvieron en cuenta las respuestas que dieron, en la primera evaluación escrita de acreditación de la asignatura, a la siguiente cuestión:

Ítem 2: «Teniendo en cuenta los elementos teóricos utilizados en la respuesta anterior, ¿podría usted predecir si uno de los metales antes mencionados es mejor conductor de la electricidad que el otro? Argumente científicamente al respecto».

La información relevada se sistematizó en tablas y, en el análisis estadístico, se utilizó la prueba χ^2 para probar independencia u homogeneidad de proporciones. Como medida de asociación se usó la razón o cociente de chances (Odds Ratio, OR); la significancia estadística fue $\alpha = 0,05$.

Curso 2010

La propuesta fue aplicada nuevamente en el primer semestre del año 2010. Se utilizó la misma metodología, con los mismos docentes y carga horaria total, con la totalidad de los estudiantes ($n = 283$) de la misma asignatura y de las carreras descritas anteriormente.

RESULTADOS

Año 2009

Las explicaciones de los estudiantes, registradas en coloquios, consultas y entrevistas, anteriores a la primera evaluación de acreditación de la asignatura, fueron divididas en dos categorías: no pertinentes y pertinentes; al comenzar el tratamiento del tema en el aula, sus presencias significaron, respectivamente, el 85 y 15% del total. Entre las pertinentes, como se esperaba, las explicaciones incorrectas que se encontraron con más frecuencia fueron las que atribuyen mayor conductancia eléctrica al metal con mayor cantidad de electrones de valencia en la banda de conducción (el 71,7% del grupo). Al respecto puede consultarse el anexo.

En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos para el ítem 1 de la primera evaluación escrita de acreditación de la asignatura.

Tabla 1.
Resultados según la terminología usada para responder al ítem 1 (año 2009)

	OB ^b -OB [*]	OBV-OBC	Total
Correctas	105	98	203
Incorrectas	6	7	13
Total	111	105	216

Estos valores se consideraron satisfactorios, ya que un elevado porcentaje de los estudiantes (93,9%) respondió correctamente. La proporción de alumnos que respondió satisfactoriamente usando la terminología OB^b-OB^* es estadísticamente igual a la proporción de alumnos que respondió correctamente usando la $OBV-OBC$ ($\chi^2 = 0,1517$, $p = 0,6969$); puede considerarse que, para este ítem, la terminología empleada no influye sobre la posibilidad de responder correctamente.

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos para el *ítem 2* de la primera evaluación escrita de acreditación. La misma muestra que una gran cantidad de estudiantes respondieron equivocadamente, prediciendo que el metal cinc es mejor conductor que el metal cobre [valores experimentales: conductividad del metal cinc: $17 \times 10^6 (\Omega \text{ m})^{-1}$, conductividad del metal cobre: $59 \times 10^6 (\Omega \text{ m})^{-1}$ (Askeland y Phulé, 2004; Smith, 2004)].

Tabla 2.
Resultados según la terminología usada para responder al *ítem 2* (año 2009)

	OB^b-OB^*	$OBV-OBC$	Total
Correctas	72	49	121
Incorrectas	30	65	95
Total	102	114	216

Los estudiantes que usaron la terminología OB^b-OB^* respondieron correctamente al ítem 2 en un 70,6% (72 de 102), mientras que aquellos que emplearon la terminología $OBV-OBC$ lo hicieron en un 42,9% (49 de 114). De aquí puede inferirse que la terminología empleada y responder correctamente a este ítem están significativamente relacionados ($\chi^2 = 16,65$; $p < 10^{-4}$). El «cociente de chances» (OR) dio un valor igual a 3,18 con un intervalo de confianza del 95% de (1,81; 5,59), lo cual significa que, cuando se aplica la terminología propia de la TOM, OB^b-OB^* , los estudiantes tienen un chance entre 1,81 y 5,59 veces superior de responder correctamente al ítem 2 que si se utiliza la terminología más comúnmente usada, $OBV-OBC$.

Año 2010

Al igual que para el curso 2009, se registraron las explicaciones de los estudiantes en las actividades anteriores a la primera evaluación de acreditación de la asignatura. Las no pertinentes representaron el 85% y las pertinentes el 15% del total. Como se esperaba, entre las pertinentes, las explicaciones incorrectas que más frecuentemente se encontraron fueron las que atribuyen mayor conductancia eléctrica al metal con mayor cantidad de electrones de valencia con la energía de los orbitales de la banda de conducción (69,0%).

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para el *ítem 1* de la primera evaluación escrita de acreditación de la asignatura en el año 2010.

Tabla 3.
Resultados según la terminología usada para responder al *ítem 1* (año 2010)

	OB^b-OB^*	$OBV-OBC$	Total
Correctas	143	120	263
Incorrectas	9	11	20
Total	152	131	283

Estos valores se consideraron satisfactorios, ya que un elevado porcentaje de los estudiantes (92,9%) respondió correctamente. De manera similar a lo acontecido en el grupo del año 2009, se encontró que, para este ítem, la terminología empleada y el contestar correctamente son estadísticamente independientes ($\chi^2 = 0,6567$; $p = 0,4177$).

En la tabla 4 se presentan los resultados para el *ítem 2* de la primera evaluación escrita de acreditación del año 2010. Esta muestra que una gran cantidad de estudiantes respondió equivocadamente, prediciendo que el metal cinc es mejor conductor que el metal cobre.

Tabla 4.
Resultados según la terminología usada para responder al *ítem 2* (año 2010)

	<i>OB^b-OB*</i>	<i>OBV-OBC</i>	<i>Total</i>
Correctas	102	63	165
Incorrectas	36	82	118
Total	138	145	283

La aplicación de la prueba ji-cuadrado de asociación tuvo un estadístico de 26,9938 con un valor $p = 2,04 \times 10^{-7}$, lo que indica que hay asociación altamente significativa entre la terminología usada al responder el ítem 2 y responder correctamente la consigna planteada. Se calculó el cociente de chances (OR) $OB^b-OB^* / OBV-OBC$ y se obtuvo un valor igual a 3,69, con un intervalo de confianza del 95% de (2,23; 6,09). Esto último permite concluir que los alumnos que usan la terminología OB^b-OB^* para responder correctamente el ítem 2 tienen un chance entre 2,23 y 6,09 veces superior que aquellos que usan la terminología $OBV-OBC$.

Comparación de resultados años 2009 y 2010

Se analizaron los resultados obtenidos con los estudiantes de las dos cohortes a efectos de determinar si el comportamiento en ambos años pudiese considerarse similar. Para ello se compararon las proporciones de alumnos que respondieron correctamente a los ítem analizados, con las diferentes terminologías, y se encontró que son todas homogéneas (prueba χ^2 , $p \geq 0,5685$). Habiendo probado que las dos cohortes mostraban comportamientos similares, al responder usando una u otra terminología, fue posible unirlas y trabajar con un grupo «intercohortes» de 499 estudiantes en total. Para este grupo se observó que la respuesta al ítem 1 es independiente de la terminología (prueba $\chi^2 = 0,7453$; $p = 0,3877$) y que las respuestas del ítem 2 son fuertemente dependientes de la terminología usada (prueba $\chi^2 = 43,58$, $p = 4,067 \times 10^{-11}$). El OR resultó igual a 3,4 con un intervalo de confianza del 95% de (2,38; 5,03), lo cual indica que los estudiantes que utilizan la terminología OB^b-OB^* tienen un chance entre 2,4 y 5,0 veces superior de contestar correctamente al ítem 2 que aquellos que utilizan la terminología $OBV-OBC$.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con los estudiantes del curso 2010 son estadísticamente similares a los del año 2009. De esta forma, las conclusiones que a continuación se exponen se refieren a todos los estudiantes que constituyen el denominado «grupo intercohortes».

A juzgar por las explicaciones registradas en coloquios, consultas y entrevistas antes del desarrollo, puede concluirse que los estudiantes que llegan al curso desconocen el tema, esto es, ignoran el concepto del enlace metálico y las teorías que lo explican.

Los resultados del *ítem 1*, de la evaluación de acreditación de la asignatura, se han considerado satisfactorios, lo cual indica que los estudiantes de las dos cohortes, al conocer y comprender la teoría de bandas presentada como extensión de la teoría de orbitales moleculares, la aplicaron correctamente para deducir la fuerza del enlace metálico.

El análisis estadístico de los resultados del *ítem 2* para el grupo «intercohortes» permite concluir que: *a)* existen evidencias de asociación estadística altamente significativa entre la terminología empleada y las respuestas; *b)* la proporción de respuestas correctas en el grupo que usó la terminología OB^b-OB* es significativamente superior a la proporción de correctas en el grupo que usó la terminología OB^v-OBC, y *c)* el grupo de estudiantes que trabajó con la terminología OB^b-OB* tuvo un chance entre 2,4 y 5,0 veces superior de contestar correctamente que el otro grupo.

Estos resultados sugieren que la asignación de un valor mayor de conductividad eléctrica al metal con mayor cantidad de electrones de valencia con valores de energía altos puede resultar como consecuencia de la propia denominación que los docentes, los libros de texto y los diferentes artículos (química, física y ciencia de materiales) y artículos de páginas web utilizan para esos niveles, concretamente, «banda de conducción», BC. Contrariamente, las denominaciones originales de la TOM no emplean la palabra *conducción* para designar los orbitales de los niveles de energía más altos de la banda y, por lo tanto, esta ausencia no puede inducir a que se asigne mayor valor de conducción eléctrica a los metales con mayor cantidad de electrones en esos niveles de energía. Este cambio de nomenclatura, y su aplicación, es lo que ha aumentado la proporción de respuestas correctas de este grupo de estudiantes. Esto que aquí se expresa puede considerarse como reflejo de la importancia que tiene el aspecto lingüístico en la enseñanza de un tema para el cual los estudiantes carecen de conceptos inclusores previos y, además, debido al alto nivel de abstracción de estos conceptos que se expresan en términos del nivel nanoscópico. Las denominaciones OB^b y OB* propias de la TOM pueden asumirse, al menos en este tipo de cursos introductorios de Química en la universidad, pues son más simples de comprender porque describen de mejor modo la constitución de las diferentes bandas de niveles de energía de los sólidos con enlaces químicos deslocalizados, constituyéndose así referentes cognitivos sin hacer referencia al fenómeno conductivo. Los aspectos teóricos de la TOM y el empleo de las denominaciones OB^b y OB* permiten explicar el carácter conductor de los metales basándose para ello en que en esos orbitales, enlazantes o antienlazantes, existen niveles de energía «vacíos» a los que los electrones de valencia pueden excitarse por la energía eléctrica y, además, por la ausencia de una brecha prohibida entre la banda enlazante y la antienlazante.

Los resultados expuestos y la hipótesis aquí confirmada sugieren realizar algunos cambios para los procesos de enseñanza y aprendizaje de la Química en las carreras de ingeniería, entre ellos, referirse a los OB sin utilizar la palabra *conducción*. Para ello, teniendo en cuenta que la teoría de bandas es una extensión de la TOM, sería razonable utilizar las denominaciones que se derivan de las propias de esta teoría, a saber, para los de menor energía «orbitales de banda enlazantes» (OB^b) y «orbitales de banda antienlazantes» (OB*).

Además, esta reasignación de denominaciones aplicada a los cristales metálicos no solo ayudaría a solucionar el error conceptual aquí estudiado, sino que facilitaría la comprensión de que cada electrón de valencia con la energía de los OB^b incrementaría la fuerza del enlace metálico y que, contrariamente, cada electrón con la energía de los OB* la disminuiría, lo cual ni siquiera queda sugerido con la terminología OB^v-OBC.

Si bien esta investigación solo está referida a los sólidos metálicos, teniendo en cuenta que la TOM puede extenderse a todos los cristales con enlaces deslocalizados, se propone, al menos para los cursos

básicos de Química de las carreras de ingenierías, reemplazar la terminología OBV-OBC por OB^b-OB^{*}, no solamente para los metales, sino también para aisladores y semiconductores con las características estructurales indicadas anteriormente.

NOTA

Este trabajo constituye un avance del proyecto «Investigación de las Argumentaciones que dan los estudiantes y docentes de Ingeniería sobre las Propiedades de las Sustancias y Materiales» (código 1Ing199) acreditado y financiado por la Universidad Nacional de Rosario, Argentina (CS 024/2007).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN CHEMICAL SOCIETY (2005). *Química. Un proyecto de la ACS*. México: Editorial Reverté S.A.
- ASKELAND, D. R. y PHULÉ, P. P. (2004). *Ciencia e Ingeniería de los materiales*. 4.^a ed. México: Thomson Editores.
- ATKINS, P. y DE PAULA, J. (2008). *Química Física*. 8.^a ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
- ATKINS, P. y JONES, L. (2006). *Principios de Química*. 3.^a ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
- BARRERA, M., PLÁ, J. y RUBINELLI F. (2007). Simulación numérica de celdas solares de GaAs. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11, pp. 93-99.
- BORG R, J. y DIENES, G. J. (1992). *The Physical Chemistry of Solids*. San Diego: Academic Press.
- BORSESE, A. (1997). El lenguaje de la química y la enseñanza de las ciencias. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 12, pp. 33-41.
- BORSESE, A. (2000). Comunicación, lenguaje y enseñanza. *Educación Química*, 11(2), pp. 220-227.
- BROWN, T. L., LEMAY, H. E., BURSTEN, B. E. y BURDGE, J. R. (2004). *Química: la ciencia central*. 9.^a ed. México: Pearson Educación de México.
- CASANOVAS, J., ARMELIN, E., IRIBARREN, J. I., ALEMAN, C. y LIESA, F. (2005). La modelización molecular como herramienta para el diseño de nuevos polímeros conductores. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 15(4), pp. 239-244.
- CHANG, R. (2007). *Química*. 9.^a ed. Buenos Aires: Mc Graw Hill.
- COSTA, J. M. (2005). *Diccionario de Química-Física*. Barcelona: Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona. Madrid: Díaz de Santos Ediciones.
- DE POSADA, J. M. (1997). Conceptions of High School Students concerning the internal structure of metals and their electronic conduction: structure and evolution. *Science Education*, 81(4), pp. 445-467.
- DOMÍNGUEZ REBOIRAS, M. A. (2006). *Química: la ciencia básica*. Madrid: International Thomson Ediciones Paraninfo S.A.
- FALICOFF, C., PLIEGO, O. H., ODETTI, H. S. y BOTTANI E. (2003). University learning and late-adolescent of post-modern ages. *Chemical Education International*, 4(1), pp. 1-23. En línea: <<http://www.IUPAC.org/publications/cei/index.html>>.
- GALAGOVSKY, L. R. y MUÑOZ, J. C. (2002). La *distancia* entre aprender palabras y aprehender conceptos. El entramado de palabras-concepto (EPC) como un nuevo instrumento para la investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (1), pp. 29-45.

- GALAGOVSKY, L. R., BONÁN, L. y ADÚRIZ BRAVO, A. (1998). Problemas con el lenguaje científico en la escuela. Un análisis desde la observación de clases de ciencias naturales. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), pp. 316-321.
- GANAZHAPA JIMÉNEZ, B. O. (2009). La introducción de Bandas de energía, portadores de cargas en conductores, y uniones. En línea: <<http://www.slideshare.net/yron/paper-de-fisica-1721996>>.
- GARCÍA FRANCO, A. y GARRITZ RUIZ, A. (2006). Desarrollo de una unidad didáctica: el estudio del enlace químico en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), pp. 111-124.
- GÓMEZ MOLINÉ M. R. y SANMARTÍ, N. (2000). Reflexiones sobre el lenguaje de la ciencia y el aprendizaje. *Educación Química* 11[2], pp. 266-273.
- KITTEL, C. (2003). *Introducción a la física del estado sólido*. 3.^a ed. Barcelona: Editorial Reverté S.A.
- KREMER, C. (2000). Las redes metálicas y sus bandas escondidas. *Anuario Latinoamericano de Educación Química*, XII, pp. 255-259.
- KREMER, C. (2001). Diagrama de bandas en las formas alotrópicas del carbono. *Anuario Latinoamericano de Educación Química*, XIV, pp. 137-141.
- KREMER, C. (2002). Diagrama de bandas en compuestos iónicos binarios. *Anuario Latinoamericano de Educación Química*, XV, pp. 211-214.
- MAKINISTIAN, L. y ALBANESI, E. A. (2004). Cálculo y determinación del band gap del compuesto GeS. *Anales de la Asociación Física Argentina*, 16, pp. 169-172.
- MATUS LEITES, L., BENARROCH BENARROCH, A. y PERALES PALACIOS, F. J. (2008). Las imágenes sobre enlace químico usadas en los libros de texto de educación secundaria. Análisis desde los resultados de la investigación educativa. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2), pp. 153-176.
- OBAYA, A., VARGAS M. y DELGADILLO, G. (2008). Estudio exploratorio sobre la comprensión de los conceptos de evaporación, condensación y presión de vapor en estudiantes universitarios. *Educación Química*, 19(2), pp. 108-113.
- PLIEGO O. H. (2008). *Química General para Ingenierías y Ciencias Exactas*. Rosario, Argentina: Editorial Magenta Impresos.
- ROUAUX, R., ZAMBRUNO, M. A., CERVellini, M. I., MUÑOZ, M. A., VICENTE, N. M. y CHASVIN, M. N. (2006). Una valoración de la comprensión lectora en alumnos del primer año de la universidad. *Educación Química*, 17(1), pp. 77-81.
- RIVOLDI, L., PLIEGO, O. y ODETTI, H. (2004). El enlace químico: una conceptualización poco comprendida. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), pp. 195-212.
- RODRÍGUEZ, C. S., PLIEGO, O. H. y JUÁREZ S. M. (2009). Conocimientos y desconceptos de los estudiantes al finalizar la presentación del enlace metálico. *Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería*, 10(18), pp. 19-27.
- ROJAS, I., MORA, C. y HERRERA, H. (2007). Bandas de energía, origen y consecuencias. *Latin-American Journal of Physics Education*, 1(1), pp. 89-94.
- SMITH, W. F. (2004). *Ciencia e Ingeniería de materiales*. 3.^a ed. Madrid: McGraw Hill Inc.
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (1991). Análisis de la introducción de la teoría de enlaces y bandas. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), pp. 53-58.
- SUTTON, A. P. (1993). *Electronic Structure of materials*. Oxford: Clarendon Press.
- TABER, K. S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. *Chemistry education: research and practice in Europe*, 2(2), pp. 123-158.
- TSAPARLIS, G. y PAPAPHOTIS, G. (2002). Quantum-chemical concepts: are they suitable for secondary students? *Chemistry education: research and practice in Europe*, 3(2), pp. 129-144.

- VIVAS REYES, R., ANAYA, J. y MERCADO, L. (2008). Estudio teórico para evaluar la conductividad del polifurano y el efecto de los sustituyentes sobre la cadena polimérica. *Revista Colombiana de Química*, 37(1), pp. 21-29.
- WHITTEN, K. W., DAVIS, R. E. y PECK, M. L. (1998). *Química general*. Buenos Aires: McGraw-Hill.

ANEXO

Respuestas dadas por los estudiantes antes de la realización de la primera evaluación de acreditación de la asignatura. Se presentaron dos tipos de cuestiones:

- a) Dado un par de metales sin sus valores de conductividad eléctrica, el alumno debía indicar cuál de ellos podría resultar el mejor conductor de la corriente eléctrica expresando la fundamentación teórica respectiva. Los pares de metales propuestos fueron: cobre-cinc, cobalto-níquel y cobalto-cinc.
- b) Dado un par de metales junto a sus valores de conductividad eléctrica, el alumno debía fundamentar la mejor conductividad de uno de ellos. Los pares de metales propuestos fueron: cobre-cinc, cobalto-níquel y cobalto-cinc.

Por razones de espacio solo se reproducen a continuación las respuestas referentes al par cobre-cinc.

Respuestas no pertinentes

Se incluyen en esta categoría todas las respuestas en las que los estudiantes intentaron expresar una fundamentación usando términos y conceptos de la vida cotidiana y/o algunos conceptos científicos no relevantes y, fundamentalmente, por no tener en cuenta la TOM o la teoría de bandas. Algunos ejemplos para el par cobre-cinc:

1. «No es muy común que los cables sean de cinc, siempre son de cobre. El cobre debe ser mejor. No se por qué: ¿será porque tiene menor densidad y los conductores son más livianos?, ¿será porque es más barato?, ¿o porque es más fácil de conseguir que el cinc?, ¿o porque es más fácil de obtener en la industria?».
2. «El cinc debe ser mejor conductor pero no se usa porque es más caro que el cobre, que es el metal del que están hechos los cables».
3. «Tanto el cinc como el cobre están en el medio de la tabla periódica, es decir, en el sector de los metales y todos los metales conducen bien la electricidad. Para mí que los dos conducen igual la electricidad».
4. «No es visto, no conozco que existan cables eléctricos o electrodos de cinc. Debe ser que el cinc conduce la electricidad menos que el cobre».
5. «Por tener menor electronegatividad, los núcleos de los átomos del cinc atraen menos a los electrones de valencia y, por ello, al estar más libres, conducen mejor la corriente eléctrica».
6. «El cinc tiene radio atómico mayor que el cobre. Así, los electrones del cinc están menos atraídos por la carga nuclear y por ello al estar más libres conducen mejor la electricidad».
7. «La energía eléctrica la conducen los electrones libres, que en el caso de los metales son los electrones de valencia. Como cada átomo de cinc tiene 12 electrones de valencia y cada átomo de cobre tiene 11, puedo decir que el cinc es mejor conductor».

Respuestas pertinentes

En esta categoría se han establecido dos diferentes posibles subgrupos: incorrectas y correctas. En ambos tipos los estudiantes han aplicado la TOM o la teoría de bandas.

Pertinentes incorrectas

En el subgrupo de las incorrectas existe un intento de aplicación de la teoría de bandas, pero se evidencia desconocimiento de los conceptos de ésta, manifestándose, *a)* en la respuesta 8, una inexistente relación entre la fuerza de enlace metálico y la energía de ligazón de los electrones de valencia en el cristal metálico y, *b)* en la respuesta 9, la influencia que, en la aplicación de la teoría de bandas por los alumnos, tiene el término *banda de conducción* asignando mayor conductividad eléctrica a los metales con mayor cantidad de electrones en esa banda. Esto es incorrecto y puede comprobarse al revisar las tablas de valores de conductancia eléctrica de los metales en estudio; por ejemplo, en todos los pares estudiados, mencionados anteriormente, el metal de mayor conductividad es el primero en cada uno de ellos y, sin embargo, es el que posee menor cantidad de electrones en la banda de conducción. Además, también se refleja la mencionada influencia cuando los alumnos atribuyen la capacidad de conducción de los metales a los electrones de la banda de conducción, sin tener en cuenta los electrones de la banda de valencia; esto es incorrecto, ya que si fuese así, se deduciría que los metales sin electrones en la banda de conducción, como por ejemplo los metales de los grupos 1, 2 y 13 de la Tabla Periódica, serían aisladores eléctricos.

8. «El metal cobre tiene 9 mol de electrones de valencia en BV y 2 mol de electrones en BC, mientras que el cinc tiene 9 y 3. De esta manera se deduce que el cobre tiene enlace metálico más fuerte. Es más conductor aquel metal que presente enlace metálico menos fuerte, así los electrones, al estar poco ligados, pueden pasar más fácilmente a la BC. El cinc es mejor conductor».
9. «Los metales cobre y cinc pertenecen a los grupos 11 y 12 y son del periodo 4 de la Tabla Periódica. Como por cada mol hay 9 mol de orbitales atómicos se forman 9 mol de orbitales de banda, la mitad enlazante y la otra mitad antienlazante. Así, yo puedo llegar a que la estructura electrónica para ellos es: $\text{Cu(s)} = (\text{OBV})^9 (\text{OBC})^2$ y $\text{Zn(s)} = (\text{OBV})^9 (\text{OBC})^3$. Como el cinc tiene más electrones en la banda de conducción, de los dos es el que tiene mayor conductividad eléctrica».

Pertinentes correctas

En el subgrupo de las correctas, la aplicación de la TOM o de la teoría de bandas ha llevado a conclusiones correctas.

10. «El metal cobre tiene 9 mol de electrones de valencia en BV (o en OB^b) y 2 mol de electrones en BC (o en OB^*), mientras que el cinc tiene, respectivamente 9 mol y 3 mol. La mayor cantidad de electrones de valencia en los niveles antienlazantes del cinc hace que la fuerza del enlace metálico sea menor que en el cobre. Sin embargo, esta estructura que he descrito no me permite estimar y comparar las conductividades eléctricas de ambos metales, debiéndose tener en cuenta otras variables que pueden afectar, por ejemplo, al sistema cristalino de cada elemento. Las influencias de estas variables son muy complejas y no las conozco. No puedo asegurar. Así, con estos datos no puedo asegurar o saber cuál es el mejor conductor, solo se puede decir que son buenos conductores porque tanto uno como otro poseen niveles energéticos disponibles en sus OB^* (o en BV) y no existe brecha prohibida».

INCIDENCE OF THE TERMINOLOGY USED IN THE APPLICATION OF THE BAND THEORY IN THE PRESENCE OF A MISCONCEPTION REFERRED TO THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF METALS. STUDY IN TWO CHEMISTRY INTRODUCTORY COURSES AT THE UNIVERSITY

Oscar Héctor, Pliego, Cristina Susana Rodríguez, Stella Maris Juárez
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.
Universidad Nacional de Rosario. Avda. Pellegrini 250, Rosario, Argentina
pliego@fceia.unr.edu.ar, cristina@fceia.unr.edu.ar, juarez@fceia.unr.edu.ar

Liliana Contini
Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas.
Universidad Nacional del Litoral. Paraje El Pozo, Santa Fe, Argentina.
lcontini@fbc.unl.edu.ar

In 2007 it was detected that students in the Chemistry introductory courses erroneously assigned higher values of electrical conductivity to metals with more valence electrons, previously named the «Conduction Band» of the Band Theory. It was decided to investigate the origin of this misconception. Assessing the students responses and the importance linguistic aspects have in the teaching of science, a working hypothesis was formed: that the possible origin of the misconception was the name assigned to the energy band. To test the hypothesis, Chemistry introductory courses were selected, with the Band Theory and the Molecular Orbital Theory (with bonding orbitals and anti-bonding orbitals, designations in which the word «conduction» doesn't appear), terminology applied to the metals. The Band Theory is an extension of the Molecular Orbital Theory and it was established that the students could freely use any of the terminologies. The choice of either of the terminologies selected was based on which of them was simpler to understand.

The investigation was developed in two stages: exploration and design (2007–2008) and results (2009–2010). To investigate if students understood and could properly apply the theoretical concepts, an accreditation evaluation was formed. Students had to deduce which of the following metals, copper or zinc, had the strongest metallic bond.

To investigate the prevalence of students misconception (described above) and the effect Band Theory terminology has, the following research method was performed: a) inspection of students responses to science questions in the classroom; b) analysis of students responses to the following question: «*Taking into account the theoretical elements used in the previous answer, could you predict if one of the metals mentioned before is a better electricity conductor than the other? Argue about it scientifically*».

The results indicate that: a) the students applied the deduction of metal bond strength correctly; b) a statistically significant association exists between the terminology used and the students responses; a higher percentage of correct answers occurred in the group that used Molecular Orbital Theory terminology.

