

## Uso de modelos moleculares para la enseñanza del enlace químico: impacto académico estudiantil

### Use of molecular models for teaching chemical bonding: student academic impact

Marcano Godoy, Keiber



 Keiber Marcano Godoy  
keiber.marcano@beleneduca.cl  
Fundación Belén Educa, Chile

**Revista Educación las Américas**  
Universidad de Las Américas, Chile  
ISSN-e: 0719-7128  
Periodicidad: Semestral  
vol. 11, núm. 2, 2021  
ccalisto@udla.cl

Recepción: 15 Septiembre 2021  
Aprobación: 06 Diciembre 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/248/2483271005/>

**Resumen:** La investigación evalúa la efectividad del uso de modelos moleculares tridimensionales en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes, para el contenido de enlace químico -iónico y covalente- y sus propiedades. Se empleó el paradigma positivista con enfoque cuantitativo, diseño de campo y cuasiexperimental. Se aplicaron pruebas para la recolección de datos, encuesta y reflexiones. Participaron 317 estudiantes durante los períodos 2017, 2018 y 2019. Con relación a los resultados, se apreció que, con la metodología tradicional (2017), los porcentajes de logro son bajos (48%) y los estudiantes que obtienen calificaciones insuficientes son altos (62%). En tanto, mediante el uso de modelos moleculares (2018 y 2019), los porcentajes de logro son altos (85% y 84%) y los estudiantes insuficientes disminuyen (10%). La aceptación de la estrategia por parte de los estudiantes fue alta (90,25%). Se concluye que el proceso de enseñanza y aprendizaje mediado por el uso de modelos moleculares ejerce efectos positivos en el rendimiento estudiantil, para el contenido mencionado.

**Palabras clave:** modelo didáctico, enseñanza de la química, educación, química.

**Abstract:** The research evaluates the effectiveness of the use of three-dimensional molecular models in students' teaching and learning process for the content of chemical bonding -ionic and covalent- and its properties. We used the positivist paradigm with a quantitative approach, field, and quasi-experimental design. Tests for data collection, survey, and reflections were applied. A total of 317 students participated in 2017, 2018, and 2019. Regarding the results, it was appreciated that, with the traditional methodology (2017), the achievement percentages were low (48%), and the percentage of students who obtained unsatisfactory grades were high (62%). Meanwhile, by using molecular models (2018 and 2019), achievement percentages are high (85% and 84%), and the percentage of students with insufficient grades decrease (10%). Student acceptance of the strategy was high (90.25%). It is concluded that the teaching and learning process mediated by molecular models exerts positive effects on student achievement for the mentioned content.

**Keywords:** didactic model, chemistry teaching, education, chemistry.

## 1. INTRODUCCIÓN

Es indiscutible que los docentes son profesionales decisivos en el proceso de enseñanza y aprendizaje, ya que están convencidos de que se necesita su capacidad de innovación, creatividad y actitud positiva hacia el cambio, para lograr satisfacer todas las exigencias que les impone el logro de aprendizajes de calidad en los estudiantes (Vélaz y Vaillant, 2012).

La enseñanza de las ciencias es un campo maravilloso que requiere de estos docentes, capaces de introducir a los estudiantes al mundo de la ciencia, sus procesos y formas de pensamiento. Es en este contexto que los docentes deben tener respuestas a preguntas tales como: ¿cómo enseñar ciencias?, ¿qué enseñar de la ciencia? Y ¿para qué enseñar ciencia? (Quintanilla, 2006).

El conocimiento en el área de las ciencias resulta cada vez más especializado, pues integra diversos campos multidisciplinarios, como física, química, biología, entre otros, que se diferencian en objetivos, problemas, métodos y habilidades, pero que comparten la comprensión de algunos conceptos fundamentales, entre los que se encuentran los relacionados a la estructura de la materia, lo que implica estudiar los átomos, las moléculas y los enlaces químicos, dado que son indispensables para entender diversos fenómenos (Betancourt, Delgado, Contreras, Pujol y Castro, 2013).

Sin embargo, estos conceptos no son comprendidos del todo por parte de los estudiantes y esta situación les impide relacionarlos luego con otros contenidos de mayor complejidad, con lo que se genera un déficit en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Dentro de las dificultades más latentes para la comprensión de estos conceptos, están los indicados por Alvarado (2005), quien señala que, en primer lugar, inciden las ideas preexistentes, muchas veces incompletas e incorrectas, con que ingresan los estudiantes a estudiar ciencias; y, en segundo lugar, la estructura de los átomos y el enlace químico, pues los estudiantes no tienen concepciones basadas en evidencias cotidianas, es decir, más cercanas a su realidad inmediata, que les permitan ver estos conceptos más abstractos y, por ende, requieren habilidades de razonamiento formal.

Otro aspecto por considerar para la poca comprensión del tema por parte de los estudiantes, es la inclusión de representaciones de fenómenos no observables, que incluyen representaciones que permiten describir la conectividad y distribución espacial de los átomos de una molécula (Flamini y Wainmaier, 2012, Cheng y Gilbert, 2017).

Esta situación se ve reflejada al momento de enseñar el contenido de Enlace Químico y sus Propiedades (EQP), específicamente la representación del enlace iónico y covalente, con estudiantes de primero de enseñanza media (IEM). Los mismos poseen concepciones alternativas no acordes a los principios que se deben tener en cuenta al momento de hacer una representación de una molécula, ni tienen noción de cómo se unen los átomos para formar las moléculas de los compuestos, puesto que no manejan correctamente los tipos de enlace (simple, doble y triple); tampoco realizan una distribución aceptable de todos los átomos que estén presentes en la molécula, como por ejemplo, saber cuál sería el átomo central; representar moléculas con cantidad incompleta de átomos y además, algunas representaciones quedan con cargas –positivas o negativas– que no son ni física ni químicamente aceptables.

Sobre la base de lo planteado, la enseñanza de la química busca que los estudiantes puedan comprender y analizar las propiedades y transformaciones de la materia, pues la estructura molecular es un concepto central de la química. Sin embargo, para que esto ocurra, los estudiantes deben enfrentarse a un gran número de leyes y conceptos abstractos, conectados entre sí, para su comprensión (Jara, 2012). A esto se suma el manejo de un lenguaje científico, el uso de simbología química y, por último, la comprensión de modelos analógicos que ayuden a la representación de lo no observable (Galagovsky, Di Giacomo y Alí, 2015).

Esta última parte, en el empleo de modelos científicos, es donde la presente investigación se enfoca, puesto que el uso de estos, en las clases de química, es una herramienta para la enseñanza y comprensión de conceptos, debido a las grandes ventajas que ofrecen. Los modelos son importantes en muchos entornos científicos. Los científicos han invertido tanto tiempo en construirlos, probarlos, compararlos y modificarlos que la

mayor parte de sus esfuerzos se dedican a introducir, aplicar e interpretar herramientas que puedan tener este valor. Por lo tanto, el modelo es una de las principales herramientas de la ciencia moderna y un elemento indispensable en la enseñanza de las ciencias (Magisterio, 2016).

Por tanto, esta investigación buscó evaluar la efectividad que tiene el uso de modelos moleculares tridimensionales como estrategia didáctica que permita dar una directriz diferente a la enseñanza tradicional del contenido de EQP, y se generen así aprendizajes significativos (evidenciados en el aumento del porcentaje de logro-aumento de rendimiento estudiantil) e incrementen el interés y motivación.

La estrategia didáctica se basó en el uso de cajas didácticas de modelos moleculares, las cuales, según Camargo (2014), ofrecen una nueva forma de representar las moléculas y comprender sus interacciones, abordándolas desde las representaciones tridimensionales, donde se pueden aplicar, además, conceptos como la geometría molecular, la hibridación, la teoría de repulsión, la estereoisomería y, desde luego, entender el comportamiento de la materia a través de las representaciones microscópicas. Dichas cajas didácticas, permiten llevar a la sala material práctico alternativo, construido por los mismos estudiantes, de fácil acceso y de bajo costo.

Esta idea se apoya en lo mencionado por Scheibel (2015), quien manifiesta que el uso de modelos moleculares en la sala es una excelente herramienta para que el estudio de la química no sea solo memorización, y se ayude a los estudiantes a romper los estereotipos de la disciplina, la que muchas veces termina volviéndose muy compleja. Asimismo, menciona que estos modelos moleculares disponibles comercialmente tienen un alto valor agregado, pero, que, con la construcción de una caja de bajo costo, con material desechable, como el plástico, se pueden emplear para la enseñanza del contenido y ser extendido para la enseñanza de la química orgánica en años futuros de escolaridad, como también, impactar de manera positiva en el ambiente a través de su reciclaje, esto último apoyado en lo planteado por Siodlack (2016).

## 2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Lo anterior, se fundamenta en los resultados que han obtenido diversos autores al aplicar dicha estrategia educativa.

En primer lugar, Rodríguez (2013) estudió la incidencia de la utilización de modelos moleculares del tipo barras o esferas y virtuales en la comprensión del concepto de tridimensionalidad molecular, en estudiantes de secundaria. Sus hallazgos, los que se apoyan en resultados similares a los presentados por Stull, Gainer, Padalkar y Hegarty (2016), lo llevaron a concluir que el empleo de modelos moleculares ayuda a los estudiantes en la comprensión de la forma que toma la molécula y produce un mayor interés, además establece un sinnúmero de interrelaciones, observaciones, diferencias y complementaciones, que bajo formas tradicionales les sería muy difícil o casi imposible de comprender. Rodríguez (2013) infiere diciendo que esta estrategia, podría generar mejores resultados académicos en los estudiantes que la han utilizado, con relación a los que no han accedido a ella, debido a los beneficios mencionados, mas no lo asegura por completo, ya que su investigación no estuvo orientada a esta comprobación.

En segundo lugar, se tiene la investigación de Betancourt et al. (2013), donde se buscó conocer la incidencia que pueda tener el uso de modelos moleculares tridimensionales para la enseñanza del nivel submicroscópico de la materia, en estudiantes de educación superior. Concluyen que la utilización de los modelos moleculares causó gran impacto motivacional, creatividad y participación por los estudiantes, sin embargo, no tienen evidencias de haber generado aprendizajes significativos del mundo submicroscópico ni de otros elementos necesarios para la representación eficaz de un enlace químico.

En tercer lugar, se tiene la investigación de Cascarosa, Fernández y Santiago (2018), los cuales buscaron que los estudiantes pudieran comprender el enlace químico de tipo covalente, a través del uso de representaciones tridimensionales. Los resultados mostraron que los estudiantes podían hacer la representación del enlace covalente de las moléculas estudiadas, pero no eran capaces de justificar las mismas desde lo teórico ni

razonar acerca de la geometría de la molécula ni situar los pares de electrones no enlazantes de los átomos. En cuanto a la valoración del uso de los modelos moleculares, la mayoría de los estudiantes lo hizo de manera positiva, considerando que estos modelos les ayudaron a la comprensión de conceptos abstractos englobados en la unidad de enlace químico (hibridación, orbitales, enlace simple, doble y triple). Concluyen que los estudiantes mejoraron su capacidad de realizar representaciones geométricas de diferentes moléculas, sugiriendo que, en el contexto analizado, el empleo de este tipo de herramienta docente en la didáctica del enlace covalente repercute positivamente en el aprendizaje.

Finalmente, en cuarto lugar, se tiene la investigación de García (2018), quien, a través de secuencias didácticas, incorporó el uso de modelos moleculares en dos y tres dimensiones para representar el enlace covalente. El autor concluye que su uso generó en los estudiantes varias capacidades: reproducir el trabajo realizado por los científicos, a partir de predicciones, observaciones, hipótesis, explicaciones, discusiones académicas y argumentos; proponer un modelo de un fenómeno en específico; además de desarrollar competencias y habilidades del pensamiento, materializadas en la construcción de aprendizajes profundos sobre los diferentes conceptos asociados al enlace químico.

Existen otras investigaciones relacionadas a la enseñanza del EQP, pero orientadas al modelaje empleando las TIC e impresiones 3D, como es el caso de Carroll y Blauch (2017), Jaramillo, Mora y Cifuentes (2016), Marcano y Cedeño (2019a), Marcano y Cedeño (2019b). Sin embargo, el empleo de las TIC resulta conveniente cuando se cuenta con un espacio óptimo para su uso y disponibilidad horaria dentro de las instituciones educativas, a modo que todos los estudiantes puedan recibir el mismo proceso de enseñanza y aprendizaje.

Como se ha presentado, la mayoría de las investigaciones que van en pro del uso de esta estrategia para el contenido de EQP, están enfocadas a la representación espacial-tridimensional y a la distribución de los átomos en la molécula, además de buscar atraer la motivación, pero ninguna donde se haya evaluado la efectividad que pueda tener esta estrategia en comparación con otros grupos que haya recibido enseñanza tradicional.

Por tanto, esta investigación se basó en evaluar la efectividad que tiene la aplicación de modelos moleculares como estrategia didáctica en el aprendizaje del EQP, con el fin de afianzar conceptos importantes, representando correctamente tipos de enlaces, distribución espacial de los átomos en la molécula, cargas formales y geometría molecular asociada, en estudiantes de I medio en un colegio de Santiago de Chile; durante los años escolares 2017, 2018 y 2019.

### 3. METODOLOGÍA

Con relación a la naturaleza de la investigación, el estudio se ubica en el paradigma positivista (González, 2003) y posee un enfoque cuantitativo (Hernández, Fernández y Baptista, 2006). El diseño se apoya en un estudio de campo (Arias, 2006), ya que los datos fueron recogidos de forma directa de la realidad. Igualmente, el trabajo siguió el plan de una investigación cuasiexperimental, debido a que existe manipulación de una variable independiente para observar su efecto sobre otra característica, dependiente; según lo establecido por Hernández, Fernández y Baptista (2006).

Se aplicó un diseño con preprueba (Prueba Intermedia – PI) y post prueba (Prueba de Unidad - PU) para grupos intactos en los años escolares 2018 y 2019, todos experimentales y sin grupo control. El año escolar 2017 corresponderá al grupo control con aplicación de la prueba fundacional PPC1.

#### Descripción de los participantes del estudio

La intervención pedagógica mediada con modelos moleculares tridimensionales se aplicó a un total de 210 estudiantes que cursan el I medio, durante los años escolares 2018 y 2019. Para el año escolar 2017, participaron un total de 107 estudiantes, sin intervención pedagógica, sino a través de la enseñanza

tradicional expositiva. En total, participaron 317 estudiantes en la investigación. Las edades comprenden entre 14 y 17 años de ambos sexos.

**CUADRO 1.**  
Distribución de los estudiantes participantes en el estudio.

AÑO ESCOLAR	NÚMERO DE ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL ESTUDIO			
	I MEDIO A	I MEDIO B	I MEDIO C	TOTAL
2017*	34	38	35	107
2018**	36	33	34	103
2019**	37	35	35	107
				<u>317</u>

Fuente: Elaboración propia.

Nota. \*Enseñanza tradicional expositiva. \*\*Empleo de modelos moleculares en la enseñanza.

ota. \*Enseñanza tradicional expositiva. \*\*Empleo de modelos moleculares en la enseñanza.

Fuente: Elaboración propia.

#### Objetivos de aprendizaje y prueba de conocimiento

El objetivo de aprendizaje (OA) con su propósito e indicadores de evaluación fueron obtenidos del Ministerio de Educación (2016), específicamente del Programa de Estudios de Ciencias Naturales, 1er año de Enseñanza Media; los cuales se medirán en la pre (PI) y post (PU) prueba. Se presentan en el cuadro 2.

**CUADRO 2.**  
OA, propósito e indicadores de evaluación del contenido EQP de IEM.

OA	PROPÓSITO	INDICADOR
OA19 Explicar la formación de compuestos binarios y terciarios considerando las fuerzas eléctricas entre partículas y la nomenclatura inorgánica correspondiente.	Caracterizar los compuestos químicos según los elementos que los componen y el enlace químico que presentan.	IE1 Representar cómo se produce y qué características posee el enlace químico de tipo iónico.
		IE2 Representar cómo se produce y qué características posee el enlace químico de tipo covalente.

Fuente: Datos obtenidos del Ministerio de Educación (2016).

En cuanto a la evaluación, la PI y la PU consisten en preguntas cerradas de elección simple, poseen una sola respuesta correcta y cada una pondera 1 punto; se considera aprobada con 60% de la dificultad, lo que equivale a nota 4,0, en una escala de 2,0 a 7,0. Ambas pruebas fueron creadas internamente por profesores de química del establecimiento. Por otro lado, la PPC1 fue creada por personas ajenas a la escuela y se aplica en todas las escuelas de la Fundación Belén Educa (FBE). En ese orden, debe aclararse que la prueba de contenido utilizada tiene el formato y la estructura de las pruebas estandarizadas utilizadas en Chile para evaluar aprendizajes.

#### Implementación de la estrategia didáctica con modelos moleculares

La implementación de la estrategia siguió la ruta de trabajo presentada en el esquema de la figura 1, ajustado de acuerdo con las necesidades del investigador y apoyado en los trabajos de Marcano (2019), Marcano y Cedeño (2019a) y Marcano y Cedeño (2019b).

El mismo está conformado por nueve etapas:

1. Creación de la PI y PU.
2. Planificación de la clase tradicional\*.
3. Ejecución de la clase 1.0\*\* según lo planificado en la etapa 2. En su ejecución se recolectan datos en el trabajo independiente y comparando con el ejemplar construido. Asimismo, se sistematizan datos del ticket de salida (mini evaluación) que determina el logro porcentual del objetivo de clase. Este proceso se repite durante las dos clases (IE1 e IE2).
4. Aplicación de la PI: permite la recolección de datos del estudio -REI-.
5. Análisis de resultados académicos obtenidos: se obtienen los datos necesarios para describir el REI, así como de los errores cometidos por los estudiantes y su tendencia, habilidades no logradas y rangos de aprendizaje individual.
6. Planificación de clase mediada con modelos moleculares\*\*\*: el docente planifica la clase según los indicadores descendidos y contenidos asociados obtenidos en el paso 5. De acuerdo con los datos, el docente tomará la decisión de realizar la reenseñanza a través del discurso guiado o del modelamiento, sumado a la incorporación de los modelos moleculares. Se construyen ejemplares.
7. Ejecución de la clase 2.0\*\* según lo planificado en la etapa 6.
8. Aplicación de la PU: Datos del estudio -REF-.

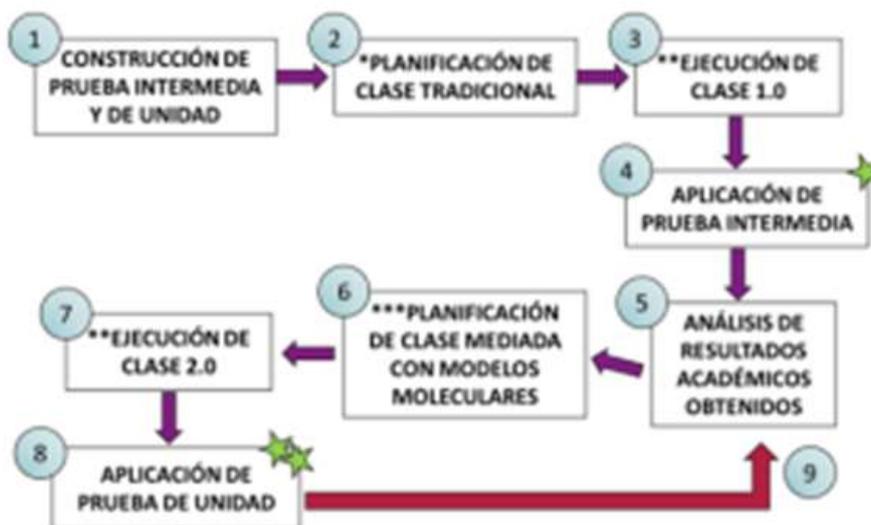


FIGURA 1.

Ruta de trabajo para la implementación de la estrategia didáctica con modelos moleculares

Fuente: Tomado de Marcano y Cedeño (2019b).

### Modelos moleculares

#### Construcción de la caja de esferas

La caja de esferas era construida de forma individual o en parejas, realizando dentro de la misma divisiones para ordenar las distintas esferas de plumavit, que representaban los átomos de los elementos químicos de la tabla periódica. Estas esferas tenían color y tamaño específico, para que el estudiante se familiarizara con el radio atómico del átomo y su ocupación en el espacio, así como también, los colores que cada uno tiene, ya que, en los distintos textos de química, se presentan las moléculas con su respectiva coloración, según el esquema CPK.

Los colores para los átomos trabajados en la estrategia (más representativos), fueron los siguientes: hidrógeno (gris), carbono (negro), nitrógeno (azul), oxígeno (rojo), flúor y cloro (verde), bromo (marrón/café), yodo (violeta), azufre (amarillo), fósforo (anaranjado) y otros elementos (rosado) esto según lo propuesto por Chang y Goldsby (2013). Para cada uno de los átomos se tenía una cantidad de cuatro esferas

de plumavit, con excepción de los átomos de carbono –que alcanzaron un total de diez– y para el hidrógeno, un total de veinte.

Además de los colores, se tomó en cuenta el tamaño de los átomos, con los valores de radio atómico para los elementos mencionados anteriormente, para diferenciar en el tamaño del diámetro de las esferas que representan a cada átomo, sin pensar en que será una diferencia a escala, pero al menos intentar aproximarse a ella. Por ejemplo, la esfera que representa al átomo de hidrógeno era la más pequeña de todas y así, se incrementaba el tamaño para el resto de los elementos.

Para representar los enlaces –simple, dobles y triples–, se utilizaron palillos de altura o de mesa. Con esto se pretende que el estudiante pueda calcular del mismo modo, la distancia que existen entre los átomos al formar un enlace, los cuales varían entre sí de acuerdo con las especies implicadas en la molécula a conformar. Por último, para hacer la representación de los electrones libres –los que no se encuentran formando enlaces–, se utilizaron alfileres con cabeza de distintos colores, para cada átomo. Todos estos materiales son de bajo costo y pueden ser adquiridos por cualquier estudiante sin importar el nivel socioeconómico. En el caso que no puede adquirir los mismos, podrá hacer el reemplazo de las esferas de plumavit por plastilina.

Representación de los enlaces a través de modelos moleculares

Los modelos moleculares que se construyeron fueron:

a. Enlace iónico: cloruro de potasio (KCl), bromuro de sodio (NaBr), fluoruro de berilio ( $\text{BeF}_2$ ), cloruro de magnesio ( $\text{MgCl}_2$ ), triyoduro de boro ( $\text{BI}_3$ ) y tricloruro de galio ( $\text{GaCl}_3$ );

b. Enlace covalente: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), tetracloruro de carbono ( $\text{CCl}_4$ ), ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ), ácido bromhídrico ( $\text{HBr}$ ), ácido yodhídrico ( $\text{HI}$ ) y ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

El ejemplar de representación para el enlace iónico y covalente se muestra en las figuras 2 y 3. Para el enlace iónico, se escribe la nomenclatura del compuesto y su fórmula, la configuración electrónica con los electrones de valencia y la representación a través de los modelos moleculares (ver figura 2). Para el enlace covalente, se seguían los siguientes pasos: i) calcular la diferencia de electronegatividad; ii) calcular el número de electrones compartidos; iii) calcular el número de enlaces; iv) representar fórmula preliminar # 1 (sin electrones compartidos); v) calcular electrones no compartidos; vi) representar fórmula preliminar # 2 (con electrones compartidos); vii) calcular carga formal efectiva; y, viii) hacer la representación molecular final – solo si existen cambios en relación a la fórmula preliminar #2– (ver figura 3).

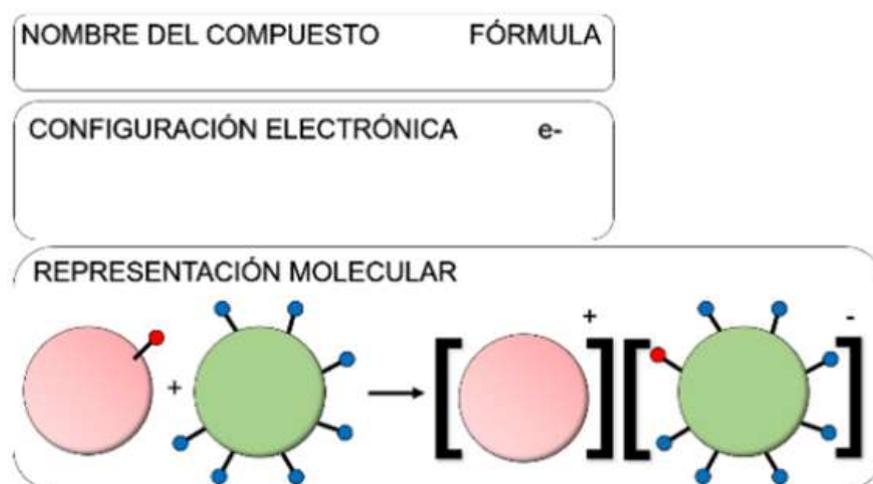


FIGURA 2.

Ejemplar de representación del enlace iónico usando modelos moleculares.

Fuente: Elaboración propia.

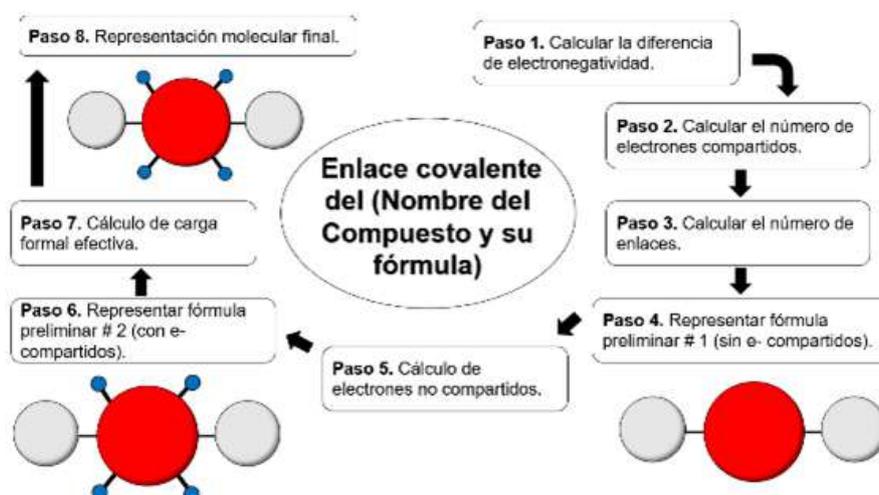


FIGURA 3.  
Ejemplar de representación del enlace covalente usando modelos moleculares.  
Fuente: Elaboración propia.

Valoración de la estrategia didáctica por parte de los estudiantes

Se realizó a través de dos formas, la primera con una encuesta tomada de Toledo y Camero (2010) y Marcano (2015), donde los ítems se relacionaban con la impresión del estudiante frente al uso de la estrategia pedagógica y su aceptación como recurso didáctico para la enseñanza del EQP. La misma consistió en 8 ítems con una escala de valoración del 1 al 5 (1= Totalmente en desacuerdo, 2= En desacuerdo, 3= Parcialmente de acuerdo, 4= De acuerdo y 5= Totalmente de acuerdo).

Finalmente, se pidió a los estudiantes que elaboraran una reflexión con sus propias palabras, para lo cual disponían de un esquema libre (mapa conceptual, mapa mental, procesador de información, entre otros), donde indicaron lo que les gustó, lo que no les gustó, lo nuevo que aprendieron, en cuáles aspectos tuvieron mayor dificultad y sus recomendaciones, así como cualquier otro comentario de su interés, con relación al contenido y a la estrategia utilizada.

Para el análisis de estas reflexiones se siguió lo planteado por Alvarado y Ochoa (2012) y Marcano (2013), quienes realizan una categorización y cuantificación de las apreciaciones semejantes entre los estudiantes por cada categoría y finalmente, las organiza mediante un cuadro comparativo, según el orden de importancia cuantificado.

#### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

##### 4.1 Aplicación de la estrategia didáctica

El uso de los modelos moleculares se llevó en un clima donde los estudiantes estaban muy motivados y expectantes en cómo iban a usar su caja de esferas y cómo iba a desenvolverse la actividad. Estuvieron muy atentos a las instrucciones y participaron activamente. En primera instancia, los estudiantes hicieron una evaluación formativa de sus cajas de esferas, para ello, docente y estudiantes construyeron un instrumento de evaluación con escala de Likert. En función de los resultados, los estudiantes hicieron los ajustes necesarios para la siguiente clase. Los instrumentos se muestran en el cuadro 3 y 4 para el año escolar 2018 y 2019, respectivamente. La figura 4 muestra algunas de las cajas de esferas construidas por los estudiantes.

**CUADRO 3.**  
Instrumento de Evaluación: Caja de esferas. Año escolar 2018.

Aspecto para evaluar	1	2	3	4	5
1. La caja se encuentra identificada.					
2. La caja posee la simbología de los elementos.					
3. La caja tiene un diseño atractivo.					
4. Posee las esferas de plumavit completas.					
5. Los tamaños de las esferas de plumavit son según su radio atómico.					

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 4.**  
Instrumento de Evaluación: Caja de esferas. Año escolar 2019

Aspecto para evaluar	1	2	3	4	5
1. Las esferas de plumavit tiene los colores que corresponde.					
2. Las esferas de plumavit están bien pintadas.					
3. La caja posee divisiones para separar las esferas de colores.					
4. La caja tiene un diseño creativo.					
5. La caja tiene nombre y apellido (identificada).					
6. La caja tiene los palillos y los alfileres con cabeza.					
7. La caja tiene simbología.					

Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA 4.**  
Cajas de esferas realizadas por los estudiantes.

Fuente: Elaboración propia

La figura 5 muestra la representación molecular del enlace iónico usando como ejemplo la molécula NaF. Se señalan los elementos diferenciados con letras. La letra A (recuadro punteado de color violeta) señala la nomenclatura del compuesto, también puede escribirse la fórmula. La letra B (recuadro punteado de color azul) señala la configuración electrónica de los elementos y los electrones de valencia. La letra C (círculo punteado de color verde) señala a las esferas de plumavit que representa a los átomos, siendo el color marrón/café para el Na y la verde para el F. La letra D (recuadro punteado de color naranja) señala a los alfileres con cabeza que representa a los electrones no enlazados o libres, siendo todos de un mismo color para el F y de otro color para el Na, esto para poder diferenciar un electrón de un átomo con otro y así se pueda apreciar la transferencia de estos.



FIGURA 5.

Representación del enlace iónico usando modelos moleculares

A= Nombre del compuesto,

B= Configuración electrónica con electrones de valencia,

C= Átomos,

D=Electrones no enlazados o libres.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 6 muestra algunas de las representaciones del enlace iónico realizadas por los estudiantes usando modelos moleculares de acuerdo con lo mencionado en la sección 2.4.2 (figura 2).



FIGURA 6.

Representaciones realizadas por estudiantes empleando modelos moleculares para el enlace iónico

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 7 muestra la representación molecular del enlace covalente, usando como ejemplo la molécula H<sub>2</sub>O. Esta figura señala elementos diferenciados con letras. La letra A (círculos punteados de color violeta) señala a las esferas de plumavit que representa a los átomos, siendo las grises para el H y la roja para el O. La letra B (recuadros punteados de color azul) señala a los alfileres con cabeza que representa a los electrones no enlazados o libres, siendo todos de un mismo color, ya que pertenecen a un mismo átomo y así, poder diferenciar de otro átomo si es que este tuviera también electrones no enlazados. La letra C (recuadros punteados de color verde) señala a los palillos de altura o de mesa que representan los enlaces que une a los átomos. Para este caso, hay enlaces simples, ya que se usa un solo palillo, si fuera un enlace doble o triple, se usan dos y tres palillos, respectivamente.

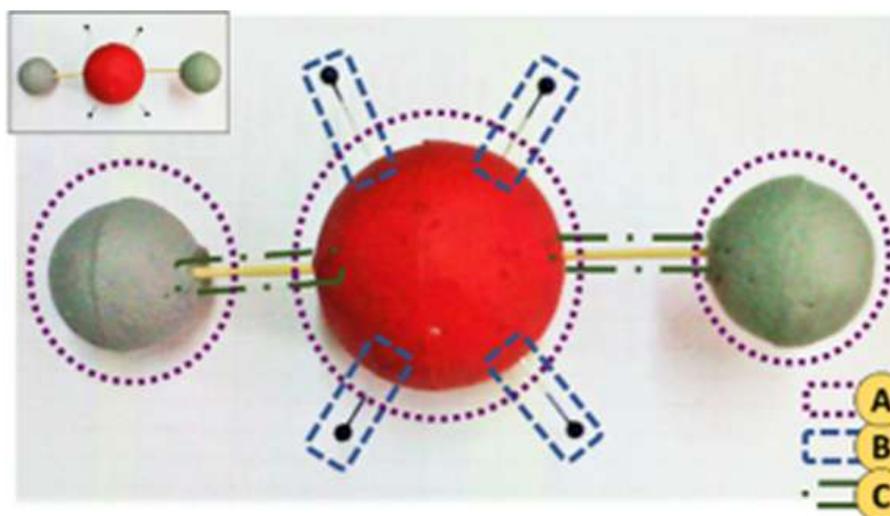


FIGURA 7.  
Representación del enlace covalente usando modelos moleculares.

A= Átomos, B= Electrones no enlazados o libres, C= Enlace.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 8 muestra la representación completa del enlace covalente de acuerdo con lo mencionado en la sección 2.4.2 (figura 3).

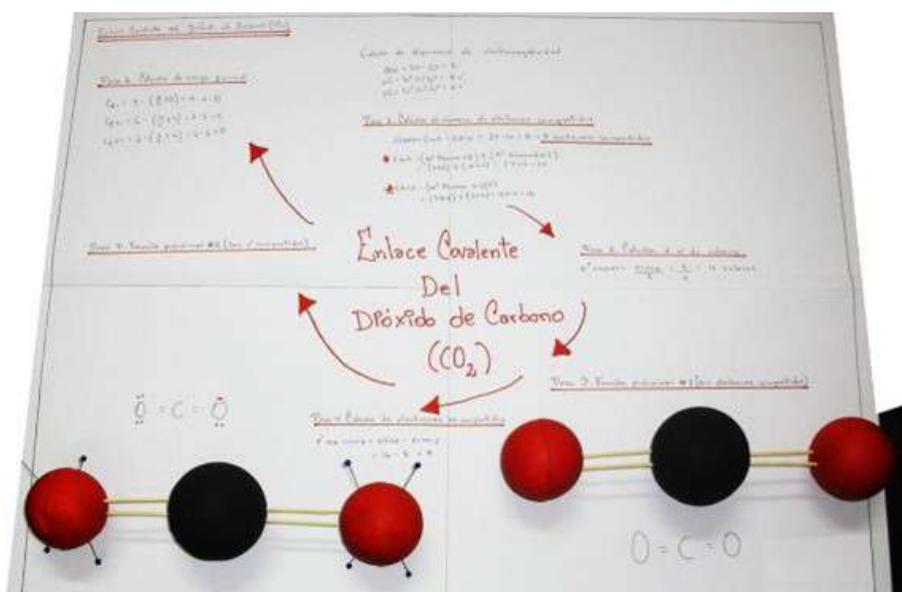


FIGURA 8.

Representación completa del enlace covalente realizada por una estudiante empleando modelos moleculares. Molécula trabajada: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Porcentaje de logro de cada indicador de evaluación

Una vez aplicada la reenseñanza de los contenidos con indicadores descendidos en la PI, estos aumentan significativamente en la PU al momento de usar modelos moleculares. En promedio, los porcentajes de logro para el OA19 pasan de 50% a 85%, durante el año escolar 2018 y, de un 52% a 84% durante el

año escolar 2019, es decir, 35 y 32 puntos por encima, respectivamente. Al comparar con los resultados obtenidos para el año escolar 2017, donde se hizo la enseñanza del contenido con metodología tradicional expositiva, los porcentajes de logro están por debajo de 50%, representando una gran cantidad de estudiantes con aprendizajes no alcanzados para el contenido de EQP.

Los indicadores de evaluación, en los que se usaron modelos moleculares, aumentan, en promedio, de la siguiente manera: para el IE1, 33 puntos y para el IE2, 35 puntos. Además, ambos están por encima de 75% de logro. En el caso donde se enseñó con la metodología tradicional, los indicadores aumentan de la siguiente manera: para el IE1 y el IE2, 7 puntos. Ambos, con un porcentaje de logro por debajo de lo esperado (ver cuadro 5 y gráfico 1).

Se observa cómo la diferencia en los porcentajes de logro para los IE1 e IE2 son significativas cuando se emplea la metodología tradicional y el uso de modelos moleculares, en el proceso de enseñanza, siendo muy bajos para el primero y muy altos para el segundo.

CUADRO 5.  
Porcentaje de logro de la PPC1, PI y PU[1]

IE	Porcentaje de logro (%)		Porcentaje de logro (%)		Porcentaje de logro (%)		Variación
	2017 PPC1*	2018 PI**	2018 PU**	Variación	2019 PI***	2019 PU***	
IE1	46	57	89	+32	52	86	+34
IE2	49	43	81	+38	51	82	+31
Total	48	50	85	+35	52	84	+32

Fuente: \*Fundación Belén Educa (2017), Informe de resultados académicos. \*\*Fundación Belén Educa (2018), Análisis de resultados obtenidos para el OA19, Química I Medio. \*\*\*Fundación Belén Educa (2019), Análisis de resultados obtenidos para el OA19, Química I Medio

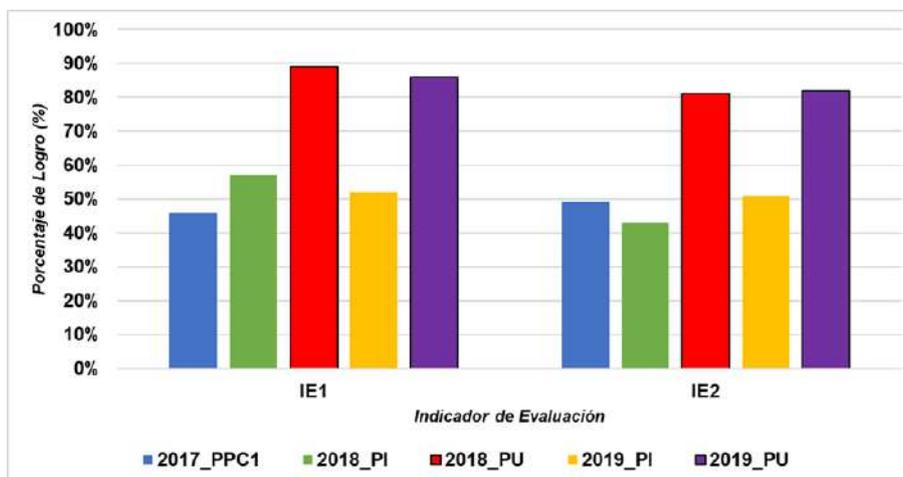


GRÁFICO 1.  
Porcentaje de logro de la PI y PU  
Fuente: Elaboración propia

### 4.3 Rangos de aprendizaje de los estudiantes

En cuando a los rangos de aprendizaje, se observan cambios significativos en la PI y la PU para el año escolar 2018 y 2019 –uso de modelos moleculares–, pero no así para el año escolar 2017 –metodología tradicional expositiva– (ver cuadro 6 y gráfica 2).

El año escolar 2018 se inicia, en la PI, con un 60% de estudiantes (62) en la categoría Insuficiente; para la PU hay un 10% (6). Para la categoría Aceptable no existen grandes variaciones (3 puntos, traducido en 2 estudiantes menos y movilizado a otra categoría); sin embargo, en la categoría de Bueno y Muy bueno hay alzas significativas, correspondiente a una movilidad de estudiantes que estaban en la categoría Insuficiente hacia estas dos últimas. Los estudiantes en categoría Bueno aumentaron de un 13% (13) a un 39% (40) y, en la categoría Muy Bueno, de 3% (3) a un 24% (25).

El año escolar 2019 se inicia, en la PI, con 71% de estudiantes (76) en la categoría Insuficiente y, en la PU, hay un 10%, lo que equivale a once estudiantes. La categoría Aceptable, se inicia en la PI con 26% (28) y en la PU se verifica un 17% (18). En la categoría Bueno y Muy Bueno hay alzas significativas, correspondiente a una movilidad de estudiantes que estaban en la categoría Insuficiente hacia estas dos últimas. Los estudiantes en categoría Bueno aumentaron de un 3% (3) a un 32% (34) y, en la categoría Muy Bueno, de 0% (0) se pasa a un 41% (44).

Al comparar la cantidad de estudiantes que obtienen resultados insuficientes el 2017, donde se emplea metodología tradicional expositiva, con los obtenidos para 2018 y 2019, hay diferencias significativas, ya que existe una disminución de estos estudiantes al emplear el uso de modelos moleculares, en promedio un 55%; además de un aumento en las categorías Bueno y Muy Bueno, en promedio un 28% y 31%, respectivamente. En la metodología tradicional expositiva, estos porcentajes son mucho menores para estas categorías.

CUADRO 6.  
Promedio porcentual de los rangos de aprendizaje en la PPC1, PI y PU[2]

Período_Prueba	Porcentaje de rangos de aprendizaje (%)			
	Insuficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
2017_PPC1*	62	16	20	2
2018_PI**	60	150	24	13
2018_PU**	10	27	13	39
2019_PI***	71	161	26	19
2019_PU***	10	17	32	129

Fuente: \*Fundación Belén Educa (2017), Informe de resultados académicos. \*\*Fundación Belén Educa (2018), Análisis de resultados obtenidos para el OA19, Química I Medio. \*\*\*Fundación Belén Educa (2019), Análisis de resultados obtenidos para el OA19, Química I Medio.

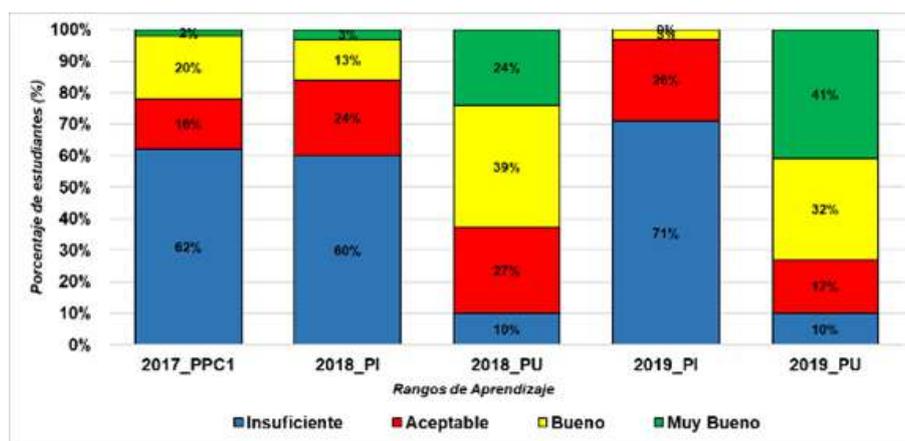


GRÁFICO 2.

Promedio porcentual de los rangos de aprendizaje en la PPC1, PI y PU

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4 Valoración de la estrategia didáctica por parte de los estudiantes

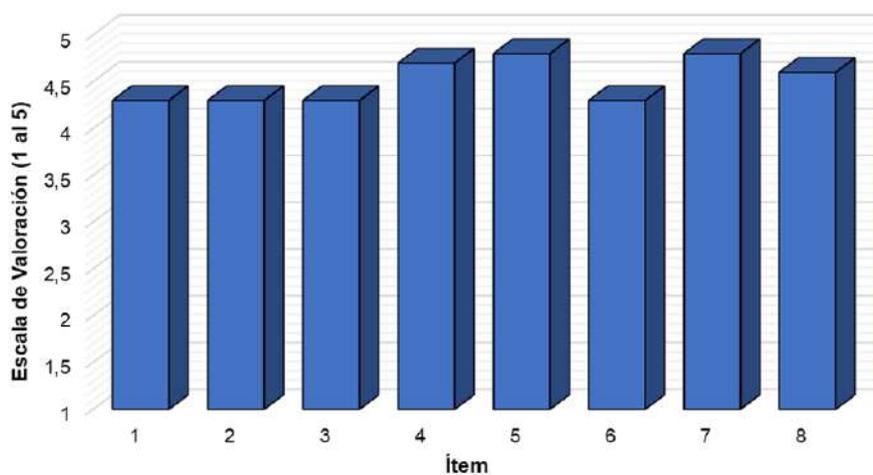
Durante los años escolares 2018 y 2019, 210 estudiantes respondieron la encuesta. Uniendo los resultados de todas ellas, se obtuvieron 1680 posibles respuestas (8 ítems para una muestra de 158). Los resultados obtenidos arrojan porcentajes de aceptación altos (la mayoría por encima del 85%) para cada uno de los ítems, como también para la aceptación de la estrategia pedagógica en la enseñanza del contenido, en los distintos períodos académicos aplicados, en promedio por un 90,25% (ver cuadro 7 y gráfica 3).

CUADRO 7.

Resultados obtenidos de la encuesta aplicada a los estudiantes que participaron en el uso de modelos moleculares.

ÍTEM	Total (1 al 5)	Porcentaje (%)
1. No presenta mayor dificultad su construcción.	4.3	86
2. Ayuda al logro de conocimientos adaptados a nuestra realidad.	4.3	86
3. Ayuda al logro de los objetivos propuestos.	4.3	86
4. Despierta mi interés (motivación).	4.7	94
5. Promueve el trabajo en equipo.	4.8	96
6. Permite una retroalimentación en tiempo real del contenido de EQP.	4.3	86
7. Las instrucciones de construcción de los modelos moleculares son claras y precisas.	4.8	96
8. El contenido está ajustado a nuestro nivel.	4.6	92

Fuente: Elaboración propia



**GRÁFICO 3.**  
Resultados obtenidos de la encuesta aplicada a los estudiantes  
que participaron en el uso de modelos moleculares

Fuente: Elaboración propia.

Se analizaron 210 reflexiones. De las mismas se pudo extraer, a través del análisis de contenido, los aspectos que se muestran en el cuadro 8.

CUADRO 8.  
Aspectos señalados por los estudiantes en sus reflexiones.

Categoría	Aspectos señalados por los estudiantes
Lo que me gustó del uso de modelos moleculares	-El momento de unir las esferas y formar la molécula. -La evaluación en el proceso era continua y formativa. -Diseñar y construir la caja de esferas. -La comprensión de los ejercicios de la PU y su correcta resolución. -El esquema que se tenía que seguir para representar los ejercicios y los modelos moleculares. -La forma final de la molécula. -Hacer la representación completa de las moléculas con los cálculos incluidos. -Lo flexible de la actividad. -La dinámica de explicación al momento de representar los enlaces con los modelos moleculares. -Promueve el compañerismo.
Lo que no me gustó del uso de modelos moleculares	-Modificar la caja de esferas según la evaluación de esta. -Pintar las esferas de plumavit y evitar el mancharse. -Elaborar la caja de esferas.
Aprendizajes nuevos	-Hacer conexiones y comprender el tema de reacciones químicas. -Afianzar la configuración electrónica con la escala de la lluvia. -Poder representar de una forma lo que se plasma en papel. -Diferencias un átomo de una molécula. -Diferenciar un enlace iónico de uno covalente.
Dificultades	-Tener que transportar la caja de esferas cuando correspondía la clase de química. - Alguno de los cálculos del enlace covalente (específicamente la carga formal efectiva).
Recomendaciones	-Dejar la caja de esferas en un espacio de la sala de clases. -Aumentar la cantidad de esferas de plumavit, ya que en algunos ejercicios se necesitaban varias esferas del mismo color y tamaño. -Asignar los ejercicios para resolverlos como actividad para la casa y solo llegar a construir las moléculas. -Importancia en la vida cotidiana de las moléculas representadas, dónde encontrarlas, efectos de estas, etc. - Usar otros materiales que tenga impacto en el reciclado de los mismo, así sería una estrategia más ecológica.

Fuente: Elaboración propia.

Según las apreciaciones registradas en las reflexiones de los estudiantes y sintetizadas en el cuadro 9, logran asignar a la estrategia empleada atributos que le confieren validez y aceptación como recurso didáctico para la enseñanza del contenido.

## 5. CONCLUSIONES

• El REI (pre prueba –clase tradicional–) para el contenido EQP, en promedio, para los IE1 e IE2, corresponden a un 50% de logro para el año escolar 2018 y, un 52% de logro para el año escolar 2019. A su vez, se tiene un 60% de estudiantes “insuficientes” para el año escolar 2018 y un 71% para el año escolar 2019.

· El REF (post prueba –clase mediada con el uso de modelos moleculares–) para el contenido EQP, en promedio, para los IE1 e IE2, corresponden a un 85% de logro para el año escolar 2018 y, un 84% de logro para el año escolar 2019. A su vez, se tiene un 10% de estudiantes “insuficientes” para ambos años escolares. Los rangos de aprendizaje “bueno” y “muy bueno” se incrementan debido a la movilidad de estudiantes obtuvieron mayores porcentajes de logro.

· Se incrementan los porcentajes de logro para los IE1 e IE2 en el contenido de EQP, es decir, hay una variación, en promedio, de 34 puntos por encima del REI y el REF, en ambos años escolares. En los rangos de aprendizaje, disminuyen los estudiantes “insuficientes” en el REF en ambos años escolares, no hay variaciones significativas en la categoría “aceptable” (6 puntos en promedio) pero, si hay un incremento en las categorías “bueno” y “muy bueno” en el REF.

· El aprendizaje mediado con el uso de modelos moleculares tiene efectos positivos en el REF en el contenido de EQP de química de IEM, representado por los porcentajes de logro en cada indicador de evaluación y POR los rangos de aprendizaje de los estudiantes en la prueba, dentro de la institución durante el año escolar 2018 y 2019; mientras que, por otro lado, las metodologías tradicionales no impactan significativamente el porcentajes de logro en los indicadores y rangos de aprendizaje, tal como se muestra para el año 2017, teniendo 48% de logro un 62% de estudiantes insuficientes (más de la mitad del curso).

· Los resultados reafirman que el comportamiento manifestado por los estudiantes es activamente participativo, pues manifiestan iniciativa, interés y motivación (94%) y muestran una participación espontánea, asertiva, diligente y, además, comparten con compañeros de clases conocimientos e inquietudes (96%), demostrando con ello la consolidación de los aprendizajes en el contenido abordado (88%). Esta innovación pedagógica permite alcanzar de mejor manera el OA OA19 de las bases curriculares de ciencias naturales de I medio, donde los estudiantes pudieron representar y explicar la formación de compuestos binarios y terciarios considerando el tipo de enlace químico, iónico y covalente, logrado gracias a esta metodología. Eso, a su vez, tiene gran importancia dentro de la enseñanza de la química, ya que permite a los estudiantes comprender el comportamiento de los átomos y la materia, a través de modelos y promueve el pensamiento científico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, C. (2005). La Estructura Atómica y el Enlace Químico desde un Punto de Vista Disciplinario. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra. VII Congreso, 1-5. <https://seminariorepensarlabioquimica.files.wordpress.com/2013/08/artc3adculo-clara-ensec3b1anza-de-las-ciencias.pdf>
- Alvarado, G. y Ochoa, M. (2012, abril) *Resultados de la aplicación de un taller de bioética para la enseñanza de la ciencia*. Ponencia presentada en la VII Jornada de Docencia e Investigación del Departamento de Biología y Química, Instituto Pedagógico de Caracas, Caracas.
- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. 5ta. ed. Caracas: Episteme.
- Betancourt, C., Delgado, M., Contreras, Y., Pujol, R. y Castro, S. (2013). Uso de modelos moleculares tridimensionales para la enseñanza del nivel submicroscópico de la materia en el curso fundamentos de química. *Revista Universitaria de Investigación y Diálogo Académico*, 9(1), 73-90. <https://docplayer.es/51126753-Usode-modelos-moleculares-tridimensionales-para-la-ensenanza-del-nivel-submicroscopico-de-la-materia-en-el-curso-fundamentos-de-quimica.html>
- Camargo, A. (2014). *Estrategia didáctica para la enseñanza de la química orgánica utilizando cajas didácticas con modelos moleculares para estudiantes de media vocacional* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/75026/analcamargo2014..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carroll, F. y Blauch, D. (2017). 3D Printing of Molecular Models with Calculated Geometries and p Orbital Isosurfaces. *Journal of Chemical Education*, 94 (7), 886-891. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00933>

- Cascarosa, E., Fernández, F. y Santiago, F. (2018). Un estudio del uso de modelos moleculares en la didáctica del enlace covalente en bachillerato. *Reidocrea*, 7, 179-189. doi: <https://www.ugr.es/~reidocrea/7-16.pdf>
- Chang, R. y Goldsby, K. (2013). *Química*. España: McGraw Hill.
- Cheng, M. y Gilbert, J. (2017). Modelling students' visualisation of chemical reaction. *Journal of Science Education*, 39 (9), 1173-1193. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1319989>
- Flamini, L. y Wainmaier, C. (2012). Representaciones moleculares: reflexiones sobre su enseñanza. *Memoria académica*, III Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el Campo de las Ciencias Exactas y Naturales, 307-316. [https://memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab\\_eventos/ev.3671/ev.3671.pdf](https://memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.3671/ev.3671.pdf)
- Fundación Belén Educa (2018). *Análisis de resultados obtenidos para el OAI9, Química I Medio*. Santiago de Chile: Fundación Belén Educa.
- Fundación Belén Educa (2019). *Análisis de resultados obtenidos para el OAI9, Química I Medio*. Santiago de Chile: Fundación Belén Educa.
- Fundación Belén Educa (2017). *Resultados consolidados PPC1 2017*. Santiago de Chile: Fundación Belén Educa.
- Galagovsky, L. R.; Di Giacomo, M. A. y Alí, S. (2015). Estequiometría y ley de conservación de la masa: lo que puede ocultar la simplificación del discurso experto. *Ciência& Educação (Bauru)*. 21(2), 351-360. <https://doi.org/10.1590/1516-731320150020006>
- García, J. (2018). *Los modelos y el modelaje científico para la enseñanza y el aprendizaje del concepto geometría molecular* (Tesis de maestría no publicada). Universidad Nacional de Colombia, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/64751/1053822691.2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- González, A. (2003). Los paradigmas de investigación en las ciencias sociales. *Revista ISLAS*, 45(138), 125-135. <http://biblioteca.esucomex.cl/RCA/Los%20paradigmas%20de%20investigaci%C3%B3n%20en%20las%20ciencias%20sociales.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.
- Jara, R. (2012). *Modelos didácticos de profesores de química en formación inicial. Un modelo de intervención docente para la enseñanza del enlace químico y la promoción de competencias de pensamiento científico a través de narrativas* (Tesis doctoral). Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile. [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/educacion/grecia/plano/html/pdfs/biblioteca/DOCTOR/TESISROXAJARA.pdf](http://www7.uc.cl/sw_educ/educacion/grecia/plano/html/pdfs/biblioteca/DOCTOR/TESISROXAJARA.pdf)
- Jaramillo, L., Mora, A. y Cifuentes, X. (2016). Integración a procesos de enseñanza aprendizaje con modelos moleculares a escala, TIC y software libres en la cotidianidad ingenieril de la química orgánica y sus aplicaciones bioquímicas. *EIEI ACOFI*. <https://pdfs.semanticscholar.org/cd0d/fcb7c08df6308e82ba6f1b5db69fe0e432b8.pdf>
- Magisterio, Gobierno de Colombia (2016). La construcción y uso de los modelos en las Ciencias Naturales y su Didáctica. <https://www.magisterio.com.co/articulo/la-construccion-y-uso-de-los-modelos-en-las-ciencias-naturales-y-su-didactica>
- Marcano, K. (2015). Aplicación de un juego didáctico como estrategia pedagógica para la enseñanza de la estequiometría. *Revista de Investigación*. 84(39), 181-204. <http://revistas.upel.edu.ve/index.php/revinvest/article/view/2510/1210>
- Marcano, K. (2013). *Percepciones de los estudiantes hacia el trabajo de campo como estrategia didáctica que permite la integración de la química y biología en tópicos ambientales con enfoque ciencia, tecnología y sociedad*. Ponencia presentada en el II Congreso Regional de Investigación. Caracas: Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas.
- Marcano, K. (2019). *Ruta de trabajo del departamento de Ciencias Naturales para el incremento de porcentajes de logro de los estudiantes de 1er ciclo de educación chilena*. Santiago de Chile: Colegio "Juan Luis Undurraga Aninat".
- Marcano, K. y Cedeño M. (2019a). Efectos de la gerencia de aula con TIC referido al contenido de enlace químico y sus propiedades en el rendimiento estudiantil en la enseñanza media chilena. *Revista de Investigación*. 97(43), 156-176. <http://revistas.upel.edu.ve/index.php/revinvest/article/view/8468>

- Marcano, K. y Cedeño, M. (2019b). Uso de las TIC en los procesos de enseñanza y aprendizaje del contenido “Enlace Químico y sus Propiedades”, centrado en habilidades cognitivas en estudiantes de educación media chilena. *Revista Educación las Américas*, 9, 28-49. <https://doi.org/10.35811/rea.v9i0.61>
- Ministerio de Educación de Chile (2016b). *Programa de Estudio Ciencias Naturales Primero Medio*. Santiago de Chile.
- Quintanilla, M. (2006). La ciencia en la escuela: un saber fascinante para aprender a ‘leer el mundo’. *Revista Pensamiento Educativo*, 39(2), 177-204. [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/educacion/grecia/plano/html/pdfs/Formacion\\_continua/talleres/FTA008.pdf](http://www7.uc.cl/sw_educ/educacion/grecia/plano/html/pdfs/Formacion_continua/talleres/FTA008.pdf)
- Rodríguez, R. (2013). *Incidencia de la utilización de modelos moleculares del tipo barras o esferas y virtuales en la comprensión del concepto de tridimensionalidad molecular en alumnos de secundaria* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11958>
- Scheibel, J. (2015). *Desenvolvimentode modelos moleculares para o ensino de química orgânica a partir de material reciclado*, (Tesina) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. <http://hdl.handle.net/10183/139074>
- Siodlak, D. (2016). Building Large Molecular Models with Plastic Screw-On Bottle Caps and Sturdy Connectors. *Journal of Chemical Education*, 94 (2), 256-259. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00576>
- Stull, A., Gainer, M., Padalkar, S. y Hegarty, M. (2016). Promoting Representational Competence with Molecular Models in Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 93 (6), 994-1001. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00194>
- Toledo, M. y Camero, R. (2010) Resultados preliminares de la aplicación de la simulación-juego instruccional (modificada): Viaje Intracelular. *Revista de Investigación*, 71 (34), 169-186. [http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1010-29142010000300009&script=sci\\_abstract](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1010-29142010000300009&script=sci_abstract)
- Vélaz, C. y Vaillant, D. (2012). *Aprendizaje y desarrollo profesional docente*. España: OEI-Fundación Santillana.