

**Una interpretación aproximativa del concepto de  
Hidrólisis en estructuras peptídicas en un Curso de  
Bioquímica del IPC en el contexto de la Teoría  
de los Campos Conceptuales de Vergnaud**

An approximate interpretation of Hydrolysis concept applied  
to peptidic structures in a Biochemistry course  
in The context of Vergnaud's Conceptual Field Theory

**Julia Flores (1)**

jflorespejo@hotmail.com

**Concesa Caballero (2)**

concesa@ubu.es

**Marco Antonio Moreira (3)**

moreira@if.ufrgs.br

<sup>(1)</sup>Universidad Pedagógica Experimental Libertador.  
Instituto Pedagógico de Caracas

<sup>(2)</sup>Departamento de Física, Universidad de Burgos, España

<sup>(3)</sup>Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil

## RESUMEN

*Este trabajo cualitativo-descriptivo tuvo como propósito identificar invariantes operatorios en esquemas activados por los estudiantes en la aplicación teórica del concepto de hidrólisis a péptidos. Se usaron algunas situaciones (S) como referentes y se recogieron datos de representaciones simbólicas usadas como significantes (L), para identificar el significado del concepto (I) de hidrólisis peptídica. La muestra consistió de 17 docentes en formación de las áreas de Química y Biología de un curso de Bioquímica del Instituto Pedagógico de Caracas (IPC). Se identificaron inicialmente dos categorías representacionales A y B; posteriormente se mantuvo sólo la B y aparecieron las categorías C y D, todas relacionadas con la hidrólisis no enzimática. La mayoría de los estudiantes se ubicaron en las categorías B y C, y sólo dos en la D, aceptable científicamente. Los*

*hallazgos orientarán una mediación didáctica para permitir el desarrollo conceptual significativo del concepto de hidrólisis peptídica considerando la categoría D.*

**Palabras clave:** *Teoría de los campos conceptuales, Invariantes operatorios, hidrólisis, péptidos, bioquímica.*

## **ABSTRACT**

*The purpose of this qualitative-descriptive work was to identify the operating invariants in the schemes activated by students during the theoretical application of the hydrolysis concept to peptide substances. Different situations (S) were used as referents; the data was collected from representational linguistic sources (L) used as significants, so as to identify the meaning (I) of the hydrolysis concept. The sample was formed by 17 teacher trainees in the areas of Biology and Chemistry of a biochemistry course in the "Instituto Pedagógico de Caracas (IPC)". Two representational categories, A and B, were first identified; afterwards B was maintained and two new categories, C and D, appeared; all the categories were related to non enzymatic hydrolysis. Only two students were found in the scientifically adequate D category. The results will be useful for a didactic intervention to allow a meaningful conceptual development of the peptide hydrolysis concept considering the D category.*

**Key words:** *Conceptual field theory; operational invariants; hydrolysis; peptides; biochemistry*

## **INTRODUCCIÓN**

El concepto de hidrólisis no es totalmente nuevo para el estudiante que cursa Bioquímica en el IPC, ya que parte de su significado se deriva de los conocimientos previos en los cursos de Química General, Fisicoquímica, Biofisicoquímica y Química Orgánica. Por una parte, "la expresión hidrólisis se aplica a la reacción que disocia el agua en  $H^+$  y  $OH^-$  por la acción de sustancias que se combinan con una especie u otra" (Gray y Haight, 1978, p. 16-9); también se refiere a la reacción de los iones  $H^+$  y  $OH^-$  del agua con los iones provenientes de ácidos y

bases débiles en un proceso de equilibrio (Slaubaugh y Parsons, 1974, pp. 239-240). Al respecto, un texto clásico de Fisicoquímica (Maron y Lando, 1978, p. 646) señala que la: "... tendencia de las sales cuando se hallan disueltas en agua a reaccionar con el disolvente e invertir así el proceso de neutralización, se denomina hidrólisis".

Por otra parte, el concepto de hidrólisis que se maneja en Química Orgánica se refiere generalmente al rompimiento de un enlace por la incorporación de uno de los iones del agua o bien de los dos en los productos de la hidrólisis. En este sentido, se habla de la hidrólisis de compuestos como haluros de alquilo, amidas, ésteres, nitrilos, entre otros más (Morrison y Boyd, 1973). El concepto de hidrólisis es nuevo para los estudiantes que cursan Bioquímica en el IPC en cuanto a la hidrólisis enzimática en sí, resaltándose, en este caso, la especificidad de la acción enzimática, a diferencia de la hidrólisis química o no enzimática, tanto ácida como básica. El estudiante aplica conceptualmente ambos tipos de hidrólisis a biomoléculas como triacilgliceroles antes de aplicarlo a proteínas; sin embargo, en el aula se han observado dificultades en la comprensión y aplicación de este concepto a estructuras peptídicas a partir de material bibliográfico básico, problema en el que se centró el interés de esta investigación.

Ahora bien, la interpretación del concepto de hidrólisis que aplican estos estudiantes en el contexto planteado, requiere de una teoría psicológica de conceptos que rinda cuenta de la historia, diversidad de situaciones enfrentadas y relación con otros conceptos. Al respecto, la teoría de los campos conceptuales (TCC) de Vergnaud sirvió como referente teórico para definir, investigar e interpretar el problema planteado: ¿Cuáles son los invariantes operatorios de los esquemas activados por los estudiantes al aplicar el concepto de hidrólisis a péptidos?

En este sentido, el objetivo general de esta investigación consistió en analizar el desempeño de los estudiantes en la resolución de un problema teórico en el área de la hidrólisis peptídica en términos de los posibles esquemas utilizados para tal fin, descritos de acuerdo con sus

componentes, especialmente los invariantes operatorios que dan cuenta de los conceptos y teoremas en acción de acuerdo con la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, para así poder evaluarlos a la luz de los conocimientos científicos.

## REFERENCIAL TEÓRICO

La teoría de los campos conceptuales es una teoría psicológica cognitivista neo-piagetiana del concepto que considera la conceptualización de lo real como la piedra angular del desarrollo cognitivo (Vergnaud, 1990, p. 1; Rodríguez Palmero y Moreira, 2002, pp. 56, 59; Moreira, 2004, p. 69). Es una teoría constructivista que toma de la teoría piagetiana el concepto de esquemas; de la teoría ausubeliana, la importancia de los conocimientos previos en la construcción del conocimiento; y de la teoría vigotskiana, el valor de la interacción social, el lenguaje y la simbolización (Rodríguez Palmero y Moreira, 2002, p. 59; Moreira, 2004, p. 68; Covalada, Moreira y Caballeros, 2005, p. 7).

Según Vergnaud, el conocimiento se organiza en campos conceptuales, unidad de análisis de su teoría, entendiéndose como “un conjunto informal y heterogéneo de problemas, situaciones, conceptos, relaciones, estructuras, contenidos y operaciones del pensamiento, conectados unos a otros y, probablemente, entrelazados durante el proceso de adquisición” (citado en Moreira, 2004, p. 68); como conjunto de situaciones permite el análisis de tareas cognitivas y procedimientos involucrados en ellas (Vergnaud, 1990, p. 7). En este contexto, se consideró la hidrólisis peptídica como el campo conceptual de análisis específico a investigar.

Un concepto se define en función de un triplete de tres conjuntos conocidos como S,I,R: las situaciones (**S**) son los *referentes* que le dan sentido al concepto, tienen una connotación psicológica (no didáctica) entendiéndose como tareas o eventos de la realidad que enfrenta el estudiante en su acontecer escolar o vida diaria y que demandan su

acción procedimental o declarativa (Vergnaud, 1990, p. 10; Bravo y Pesa, 2005, p. 1); los invariantes operatorios (**I**) le dan su *significado* a través de los conceptos en acción y teoremas en acción que constituyen la base operativa de los conceptos, permitiéndole al individuo hacerle frente a las situaciones (Rodríguez Palmero y Moreira, 2002, pp. 68-69); y las representaciones (**R**) simbólicas de los invariantes operatorios, o *significantes* explícitos, pueden ser lingüísticas o no y pictóricas (op. cit., p.68; Llancaqueo, Caballeros y Moreira, 2003, p.8), y ayudan a tres funciones: (a) designar e identificar los invariantes operatorios, (b) razonar e inferir y (c) anticipar, planificar y controlar la acción (Vergnaud, 1990, p. 15). Para Vergnaud un concepto no se forma dentro de un sólo tipo de situaciones ni una situación se analiza con un sólo concepto, por lo que la construcción y apropiación de todas las propiedades de un concepto o todos los aspectos de una situación no ocurre en un sólo momento sino en el transcurso de un tiempo largo debido a la naturaleza adaptativa del conocimiento (op. cit., pp.1-2).

La apropiación del conocimiento a través de la conceptualización de lo real, requiere de la acción de las operaciones del pensamiento del sujeto en interacción esquema-situación y no simplemente sujeto-objeto como lo percibía Piaget (Gomes de Sousa y Fávero, 2004, p. 63). Un esquema se entiende como una elaboración pragmática del significado del concepto a través de las diversas tareas que el individuo intenta resolver con la ayuda instrumental de las representaciones; se define como “la organización invariante de la conducta para una clase de situaciones dadas” (Vergnaud, 1990, p. 2). Un esquema puede ser automatizado, si es claro y aplicable a una clase de situaciones con características bien definidas; y no automatizado, si es ambiguo y aplicable a situaciones muy amplias (Moreira, 2004, p. 73; Vergnaud, 1990, p. 4).

En la perspectiva de la teoría de los campos conceptuales, los esquemas son: (a) *anticipatorios* porque tienen metas; (b) *reglamentados* porque se rigen por reglas de acción, las cuales son del tipo “si ..., entonces ...”; (c) *operatorios* porque poseen invariantes operatorios en la forma de conceptos en acción y teoremas en acción que permiten el

reconocimiento de los elementos de la situación y la información relevante; e (d) *inferenciales* porque permiten razonamientos para calcular las reglas y anticipaciones a partir de los invariantes operatorios y de la información que maneja el sujeto (Vergnaud, 1990, p. 15; Moreira, 2004, p. 73), características derivables de su composición elemental.

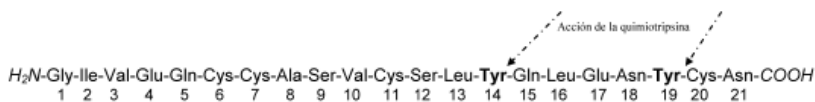
Los conceptos en acción y teoremas en acción son entidades psicológicas, implícitas, a diferencia de los conceptos científicos que son explícitos, por lo que no pueden ser explicados en un lenguaje natural; no obstante, pueden tornarse en un conocimiento científico si se explicitan a través del proceso de enseñanza, lo que puede requerir mucho tiempo (Rodríguez Palmero y Moreira, 2002, p. 69; Moreira, 2004, p. 77). Un concepto en acción se refiere a atributos, objetos, relaciones, condiciones, predicados o categorías implícitas, relevantes o no para el individuo en la identificación de una situación o problema y la selección de información de la misma para resolverla o interpretarla, que no permiten inferencias o computaciones, es decir, razonamientos, ya que esta función es propia de los teoremas en acción, integrados de conceptos en acción que forman proposiciones, verdaderas o falsas, que permiten resolver la situación o problema (Rodríguez Palmero y Moreira, 2002, pp. 69-70).

La teoría de Vergnaud “es especialmente adecuada para comprender y explicar procesos de aprendizaje significativo de concepto. ... permite explorar vínculos entre la estructura cognitiva y la estructura de un concepto determinado y, de este modo, describir distintos niveles de conceptualización del concepto” (Caballero, 2003, p.147); permite revalorizar la concepción de aprendizaje significativo en cuanto a su proceso de producción (Rodríguez Palmero, 2004, p.8); y “además, a diferencia de Piaget, toma como referencia el propio contenido del conocimiento y el análisis conceptual del dominio de ese conocimiento” (Moreira, 2004, p. 67). Por tales razones, se consideró como referente teórico en este estudio.

## Interpretación científica de un problema de Hidrólisis aplicada a péptidos

Para el problema<sup>1</sup> ¿qué resultados se obtendrán al hidrolizar la Cadena A de la insulina bovina Gly-Ile-Val-Glu-Gln-Cys-Cys-Ala-Ser-Val-Cys-Ser-Leu-Tyr-Gln-Leu-Glu-Asn-Tyr-Cys-Asn) con diferentes peptidasas<sup>2</sup>, con ácido clorhídrico y con hidróxido de sodio, por separado?, los principios discutidos a continuación son aplicables a los péptidos en general.

*Hidrólisis enzimática de la cadena A de la insulina bovina con proteasas.* Las enzimas tienen especificidad de acción. Por ejemplo, la quimiotripsina es una endopeptidasa<sup>3</sup> que actúa sobre enlaces peptídicos<sup>4</sup> en el que está unido un residuo de aminoácido aromático, fenilalanina (Phe), tirosina (Tyr) o triptófano (Trp), causando la ruptura del lado del grupo carbonilo del mismo. En el caso de la cadena A de la insulina bovina la ruptura ocurrirá en las posiciones 14 y 19, donde está la tirosina (Tyr):



---

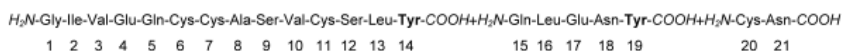
1 El problema aquí planteado se usó como parte de esta investigación y está referido como PROBLEMA 1.

2 Las peptidasas, llamadas también proteasas, son enzimas hidrolíticas que actúan específicamente sobre los enlaces peptídicos causando su ruptura mediante la incorporación de moléculas de agua.

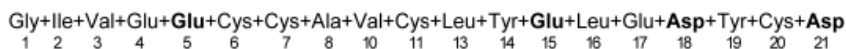
3 Una endopeptidasa es una enzima que causa ruptura de enlaces peptídicos específicos que no se encuentran en los extremos de la cadena polipeptídica, es decir, en el extremo amino terminal o extremo carboxilo terminal. Otras endopeptidasas son la tripsina, termolisina y pepsina; por el contrario, las exopeptidasas, como la aminopeptidasa y la carboxipeptidasa, actúan rompiendo sólo el enlace peptídico del aminoácido terminal respectivo.

4 El enlace peptídico es un enlace covalente tipo amida que se representa como -CONH-, donde el oxígeno del grupo carbonilo se encuentra en posición *trans* con relación al hidrógeno del grupo amino.

La hidrólisis parcial por esta acción enzimática libera tres péptidos, a saber<sup>5</sup>:



*Hidrólisis química de la cadena A de la insulina bovina.* La hidrólisis química, de tipo ácida y básica, se caracteriza por no tener acción específica causando así la hidrólisis total de todos los enlaces peptídicos. Por una parte, con la hidrólisis ácida<sup>6</sup> se obtendría lo siguiente:



Los residuos de aminoácidos amídicos que estaban ubicados en las posiciones 5, 15, 18 y 21 se convertirían en sus formas ácidas correspondientes, mientras que los aminoácidos de las posiciones 9 y 12 serían destruidos (indicado por el espacio en blanco). Los aminoácidos liberados también se pueden representar de la siguiente manera, considerando su proporción:



La presencia de las formas enantioméricas L y D de los aminoácidos es baja por la poca racemización<sup>7</sup> generada por este tipo de hidrólisis; esto se puede señalar de diversas maneras.

---

<sup>5</sup> Se mantendrá la numeración de cada aminoácido, según el orden en el péptido original, solo para facilitar la explicación.

<sup>6</sup> La hidrólisis ácida se realiza con HCl 6N entre 100°C y 120 °C durante un lapso de 10 a 24 horas, normalmente en un tubo de ensayo cerrado al vacío. Con esta hidrólisis se destruyen los aminoácidos triptófano (Trp), serina (Ser) y treonina (Thr), mientras que la asparagina (Asn) y la glutamina (Gln) se convierten en sus respectivos ácidos, glutámico (Glu) y aspártico (Asp). La hidrólisis ácida produce poca racemización de los aminoácidos. (Lehninger, 1984).

<sup>7</sup> La racemización se refiere a la formación de isómeros de configuración L y D, enantiómeros. Los aminoácidos proteicos son todos del tipo L, pero al liberarse por hidrólisis química se puede generar la forma D. En un sentido práctico, una mezcla racémica es *ópticamente inactiva* debido a que los enantiómeros tienen rotación óptica opuesta.



Por otra parte, la hidrólisis básica<sup>8</sup> generaría los siguientes productos:



Los residuos de cisteína de las posiciones 6, 7, 11 y 20, así como los de serina en las posiciones 9 y 12 se destruyen, indicado por los espacios vacíos. Las proporciones de los productos generados se podría resumir así: 1Gly + 1Ile + 2Val + 2Glu + 2 Gln +1Ala + 2Leu + 2Tyr + 2Asn, todos racemizados, presentes en sus configuraciones L y D, en su totalidad.

## MÉTODO

La población consistió de 23 docentes en formación de Biología y Química de un curso de Bioquímica (N=23), dictado en la UPEL-IPC por el investigador, escogiéndose 17 para la muestra. El diseño cualitativo-descriptivo de esta investigación fue el siguiente:

---

<sup>8</sup> La hidrólisis básica se realiza en disoluciones concentradas de hidróxido de sodio, NaOH en ebullición y provoca la destrucción de los aminoácidos serina (Ser) y treonina (Thr), al igual que la ácida, además de cisteína (Cys) y cistina (unión de dos residuos de cisteína). Este tipo de hidrólisis produce la racemización de todos los aminoácidos. La hidrólisis alcalina se utiliza normalmente para valorar el triptófano, el cual es estable en estas condiciones pero inestable en el tratamiento ácido. (Lehninger, 1984).

Tabla 1. Diseño Cualitativo de la Investigación Considerando la TCC de Vergnaud

SITUACIONES O TAREAS	CONTENIDO EXPLICATIVO DE LAS TAREAS	FUENTES REPRESENTACIONALES
PROBLEMA 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación teórica en el aula del concepto de hidrólisis enzimática, ácida y básica al Problema 1 por pares de estudiantes organizados a la vez en grupos pequeños para compartir significados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respuestas escritas en el pizarrón sobre resolución del Problema 1 por los estudiantes.</li> <li>• Respuestas verbales sobre el significado de hidrólisis.</li> </ul>
PROBLEMA 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación teórica fuera del aula del concepto de hidrólisis enzimática, ácida y básica al Problema 2 por pares de estudiantes para compartir significados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respuestas escritas en papel por los estudiantes.</li> </ul>
ENTREVISTA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Razonamiento verbalizado sobre la resolución del Problema 2 con relación a diversos conceptos que el estudiante consideraba relevantes para explicar el significado del concepto de hidrólisis aplicado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrevistas transcritas.</li> </ul>
PRUEBA ESCRITA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respuestas a las preguntas de selección simple de la prueba escrita (Parte I).</li> <li>• Respuestas a las preguntas abiertas de la prueba escrita sobre concepto de hidrólisis y representación de la ecuación de hidrólisis de un dipéptido (Parte II).</li> <li>• Relación de conceptos involucrados (Parte III).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respuestas escritas a las diversas partes de la prueba</li> </ul>
MAPAS DE CONCEPTOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboración de un mapa conceptual (<math>MC_{Ent}</math>), después de la entrevista, usando 10 conceptos claves seleccionados por el investigador del contenido de hidrólisis peptídica del texto común usado en el curso.</li> <li>• Elaboración de un mapa conceptual (<math>MC_{PE}</math>), como parte de la Prueba Escrita, usando 10 conceptos claves del contenido de hidrólisis peptídica seleccionados del repertorio verbal de los estudiantes derivado de la entrevista.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapas conceptuales elaborados</li> </ul>

## Procedimiento

Se discutió en clase el contenido introductorio de aminoácidos y proteínas usándose como apoyo un material de referencia que incluía el tema sobre la hidrólisis peptídica enzimática y no enzimática; se realizaron ejercicios sobre hidrólisis enzimática en clase en una sesión tipo taller. Una semana después los estudiantes fueron reunidos en pares por

grupos organizados en clase para darle respuesta al PROBLEMA 1<sup>9</sup> sobre hidrólisis enzimática y no enzimática de un péptido; los grupos escribieron las respuestas en el pizarrón y expusieron oralmente el razonamiento al respecto. Al finalizar la sesión de clase, se asignó por pares el PROBLEMA 2<sup>10</sup> para ser resuelto fuera del aula usando las fuentes bibliográficas necesarias.

Una semana después se hizo una entrevista semiestructurada (grabada) a cada par de estudiantes sobre la resolución del Problema 2; las respuestas se dejaron por escrito en papel. Al finalizar la entrevista cada estudiante elaboró un MAPA CONCEPTUAL (MC<sub>Ent</sub>) con 10 conceptos seleccionados del material de apoyo usado en clase. Una semana después se aplicó una PRUEBA ESCRITA, validada en contenido por expertos de tres áreas: Química General, Química Orgánica y Bioquímica. Consistía de 13 preguntas de selección simple con distractores extraídos del discurso de la entrevista, 2 preguntas abiertas y la elaboración de un MAPA CONCEPTUAL (MC<sub>PE</sub>) con 10 conceptos relacionados extraídos de las entrevistas.

## RESULTADOS

Los datos del Problema 1 y Problema 2 se analizaron en busca de categorías esquemáticas a la luz de la TCC de Vergnaud. Los niveles de conceptualización del concepto de hidrólisis se precisaron a través de las respuestas escritas y orales, la entrevista, los mapas conceptuales y la prueba escrita, como formas representacionales que permiten identificar los invariantes operatorios del conocimiento implícito que le dan el significado al concepto.

---

<sup>9</sup> La pregunta, que lució como un ejercicio al principio, se constituyó en un problema para los estudiantes. En este sentido, se debe entender que “un problema no es un problema para un individuo a menos que el individuo tenga conceptos que lo capaciten para considerarlo como un problema”, como lo plantea Vergnaud (Rodríguez Palmero y Moreira, 2002, p. 57).

<sup>10</sup> El problema 2 se planteó en los mismos términos, con la diferencia de que cada equipo de estudiantes aplicaría la hidrólisis a una proteína diferente que se le asignó de antemano y cuya estructura primaria tenían que consultar primero.

Con relación al **PROBLEMA 1**, ¿qué resultados se obtendrán al hidrolizar la Cadena A de la insulina bovina (Gly-Ile-Val-Glu-Gln-Cys-Cys-Ala-Ser-Val-Cys-Ser-Leu-Tyr-Gln-Leu-Glu-Asn-Tyr-Cys-Asn) con diferentes peptidasas, con ácido clorhídrico y con hidróxido de sodio, por separado?, no se encontraron dificultades con la aplicación del concepto de hidrólisis enzimática usando diferentes peptidasas para la cadena A de la insulina bovina, excepto cuando se tenía que decidir si una endopeptidasa en particular podía o no actuar sobre el enlace peptídico cuando el aminoácido específico reconocido se encontraba en uno de los extremos de la cadena peptídica. Por lo tanto, el análisis se centró en los resultados sobre la aplicación del concepto de hidrólisis no enzimática, encontrándose inicialmente dos tipos de representaciones, A y B, inconsistentes científicamente, como se aprecia en la Tabla 2:

**Tabla 2. Resultados de las Respuestas al Problema 1 sobre la Aplicación de la Hidrólisis Química**

CATEGORÍAS ESQUEMÁTICAS	DESCRIPCIÓN DE LAS CATEGORÍAS Y REPRESENTACIÓN DE LAS RESPUESTAS	PORCENTAJE DE RESPUESTAS
A	<p><i>La cadena peptídica se acorta al destruirse algunos aminoácidos específicos constituyentes de la misma dejando el resto intacto o modificados en sus formas químicas correspondiente, según el tipo de hidrólisis química ocurrida.</i></p> <p><b>Representación de la hidrólisis ácida:</b>                      Gly-Ile-Val-Glu-Glu-Cys-Cys-Ala-Val-Cys-Leu-Tyr-Glu-Leu-Glu-Asp-Tyr-Cys-Asp                      1 2 3 4 5 6 7 8 10 11 13 14 15 16 17 18 19 20 21</p> <p><b>Representación de la hidrólisis básica:</b>                      Gly-Ile-Val-Glu-Gln-Ala-Val-Leu-Tyr-Gln-Leu-Glu-Asn-Tyr-Asn                      1 2 3 4 5 8 10 13 14 15 16 17 18 19 21</p>	47,1%
B	<p><i>La cadena peptídica se fragmenta solamente en las posiciones donde se encuentran los aminoácidos que se destruyen, generando los péptidos pertinentes con el resto de los aminoácidos intactos o modificados químicamente, según el tipo de hidrólisis química ocurrida.</i></p> <p><b>Representación de la hidrólisis ácida:</b>                      Gly-Ile-Val-Glu-Glu-Cys-Cys-Ala+Val-Cys+Leu-Tyr-Glu-Leu-Glu-Asp-Tyr-Cys-Asp                      1 2 3 4 5 6 7 8 10 11 13 14 15 16 17 18 19 20 21</p> <p><b>Representación de la hidrólisis básica:</b>                      Gly-Ile-Val-Glu-Gln + Ala + Val + Leu-Tyr-Gln-Leu-Glu-Asn-Tyr + Asn                      1 2 3 4 5 8 10 13 14 15 16 17 18 19 21</p>	52,9%

Algunas expresiones verbales que trataron de justificar la CATEGORÍA A para la hidrólisis ácida fueron las siguientes: “La cadena queda más

corta porque desaparecen los residuos de serina”, “la destrucción de la serina es simultánea a la conversión de asparagina y glutamina en aspártico y glutámico”, “sólo se elimina la serina y se convierte asparagina y glutamina en aspártico y glutámico”; en el caso de la **hidrólisis básica** no hubo defensa verbal de sus proponentes, ya que se dejó sobreentendido que la justificación era similar a la dada con relación a la hidrólisis ácida. En la Categoría A se pudieron identificar algunos **conceptos en acción**: conversión de aminoácidos, destrucción de aminoácidos y acortamiento de la cadena peptídica, los cuales se relacionan en los siguientes **teoremas de acción**: “la cadena peptídica se acorta por la destrucción de algunos aminoácidos específicos constituyentes” y “la hidrólisis química no causa la ruptura de enlaces peptídico sino destrucción y conversión de algunos aminoácidos”, quedando implícitos dos **razonamientos inferenciales** probables: (a) al destruirse un aminoácido se rompe el enlace pero se vuelve a formar de inmediato o (b) el aminoácido específico se elimina sin romperse el enlace peptídico. Ambos razonamientos justifican erróneamente el acortamiento del péptido ya que no se discrimina conceptualmente ruptura y formación del enlace peptídico, por lo que el “carácter diferencial”, término usado por Ausubel (citado en Caballero, 2003), del concepto aplicado de hidrólisis como ruptura de enlace peptídico, en las situaciones planteadas, no permite una interpretación adecuada con los criterios de identidad propios del mismo en términos de propiedades o atributos.

Algunas expresiones verbales que trataron de justificar la CATEGORÍA B para la hidrólisis ácida fueron: “donde está la serina se destruye y se forman tres péptidos”; “si se destruye la serina no pueden quedar juntos estos aminoácidos en la cadena”; “se destruye la serina, sale, se rompe la cadena sólo en el punto donde estaba la serina, el resto queda intacta”. Una expresión verbal sobre la hidrólisis básica fue: “si se destruye la Ser y la Cys, entonces entiendo que me quedan dos cadenas peptídicas y tres aminoácidos libres”. En la Categoría B se apreciaron algunos **conceptos en acción**: conversión y destrucción de aminoácidos (ambos presentes también en la Categoría A), además de ruptura de enlace y especificidad hidrolítica. Un **teorema en acción** identificado fue

el siguiente: “algunos aminoácidos específicos se requieren en la cadena peptídica para que se pueda hidrolizar”.

Las expresiones orales sobre el significado del concepto de hidrólisis de algunos estudiantes al intentar resolver en general el Problema 1 fueron: “es eliminación de agua”; “es absorción de agua”; “es incorporación de hidrógeno”, ninguna de ellas aceptable científicamente. Se pudo observar, en esta primera aproximación, que los estudiantes: (a) no tenían claro el papel del agua en la hidrólisis, (b) no utilizaban el concepto de racemización, (c) le atribuían especificidad de acción a la hidrólisis química en forma similar a la hidrólisis enzimática y (d) consideraban que la transformación de un aminoácido amídico en su forma ácida ocurría en la cadena peptídica sin que hubiera ruptura del enlace peptídico.

Aunque las categorías encontradas son inadecuadas científicamente, se pudiera decir que el esquema de la Categoría B reveló un nivel de conceptualización superior al del esquema A.

Ahora bien, con relación al **PROBLEMA 2**, ¿qué resultados se obtendrán al hidrolizar con diferentes peptidasas, con ácido clorhídrico y con hidróxido de sodio, por separado, el péptido o proteína<sup>11</sup> que se le asignó para su análisis?, al igual que en el Problema 1, no se precisaron dificultades importantes con relación al concepto de hidrólisis enzimática. La dificultad radicaba igualmente en la aplicación del concepto de hidrólisis química; la Tabla 3 revela la aparición de nuevas categorías, C y D, y la desaparición de la categoría A.

---

<sup>11</sup> Los péptidos o proteínas considerados fueron: 1. Glutatión; 2. Oxitocina; 3. Vasopresina; 4. Met-enkefalina; 5. Leu-enkefalina; 6. Factor natriurético auricular; 7. Sustancia P; 8. Bradiquinina; 9.  $\alpha$ -Melanotropina; 10. Galanina; 11. Neuropeptido Y.

**Tabla 3. Resultados de las Respuestas al Problema 2 sobre la Aplicación de la Hidrólisis Química**

<b>Categorías esquemáticas</b>	<b>Descripción de las categorías</b>	<b>Número de respuestas por categoría</b>	<b>Porcentaje de respuestas</b>
<b>A</b>	<i>La cadena peptídica se acorta al destruirse algunos aminoácidos específicos constituyentes de la misma dejando el resto intacto o modificados en sus formas químicas correspondiente, según el tipo de hidrólisis química ocurrida.</i>	0	0%
<b>B</b>	<i>La cadena peptídica se fragmenta solamente en las posiciones donde se encuentran los aminoácidos que se destruyen, generando los péptidos pertinentes con el resto de los aminoácidos intactos o modificados químicamente, según el tipo de hidrólisis química ocurrida.</i>	8	47,06 %
<b>C</b>	<i>La cadena peptídica queda intacta, no sufre hidrólisis, si no están presentes los aminoácidos que sufren destrucción.</i>	7	41,18 %
<b>D</b>	<i>La cadena peptídica se hidroliza completamente liberando todos los aminoácidos, destruyendo y/o modificando aminoácidos específicos y generando racemización diferencial según el tipo de hidrólisis química.</i>	2	11,76%

Por una parte, el esquema de la Categoría A probablemente respondió a situaciones amplias, siendo ambiguo y poco estable (Vergnaud, 1990, p.4; Moreira, 2004, p.73), pero se modificó al encontrarse con una situación nueva, cambiando pragmáticamente al esquema C, algo más refinado para el estudiante que el esquema A, aunque igualmente inadecuado. El hecho de que casi el 50% de los estudiantes se ubicaron inicialmente en la categoría A y luego apareciera en su lugar la categoría C en casi la misma proporción (ver Tabla 3), luce como un evidente intento de ajuste esquemático, aunque muy deficiente. Al respecto, Vergnaud (1990) señala que cuando se “utiliza un esquema ineficaz para una cierta situación, la experiencia le conduce bien a cambiar de esquema, bien a modificar este esquema” (p.3).

Asimismo, el esquema de la categoría A se pudiera interpretar como una representación interna provisoria correspondiente a un modelo mental en la memoria de trabajo o memoria episódica del estudiante (Moreira, 2004, p.35; Rodríguez Palmero, 2004, p.7), que fue luego desechado en búsqueda de una mejor funcionalidad frente a una nueva situación, construyéndose así un nuevo esquema a partir de los

invariantes operatorios del anterior o de varios esquemas previamente activados (Andrés y Pesa, 2004, p.62). El esquema A permitió responder de inmediato a la nueva situación sobre hidrólisis no enzimática en el Problema 1, haciendo anticipaciones frente a la misma; sin embargo, el estudiante cambió probablemente al esquema C al tratar de resolver el Problema 2, manteniendo específicamente los **conceptos en acción** “conversión de aminoácidos” y “destrucción de aminoácidos”.

Por otra parte, el esquema de la Categoría C pudiera ser una forma circunstancial alternativa de la Categoría B para algunos estudiantes, explicando así la disminución de su proporción frente al Problema 2 (Tablas 2 y 3). El caso del estudiante 1C (ver anexos) fue seleccionado para sustentar esta interpretación, el cual usó el esquema C para resolver el Problema 2, pero seleccionó la alternativa correspondiente al esquema B en los ítemes 11 y 13 de la Prueba Escrita, revelando así una confusión al tratar de construir el nuevo esquema (ver segmento de la entrevista en anexo A). La deficiencia conceptual de la Categoría C con relación a la Categoría B se aprecia en las Tablas 4 y 5, revelada por su muy bajo desempeño.

**Tabla 4. Desempeño de los Estudiantes en la Elaboración de Mapas Conceptuales por Categoría**

Categorías Esquemáticas	Mapas Conceptuales Elaborados		Desempeño	Conceptualización
	MC <sub>Ent</sub>	MC <sub>PE</sub>		
B	62,5 %	62,5 %	Bajo	Deficiente
	25,0 %	25,0 %	Medio	
	12,5 %	12,5 %	Alto	
C	71,4 %	85,7 %	Bajo	Muy deficiente
	28,6 %	14,3 %	Medio	
	0 %	0 %	Alto	
D	50,0 %	0 %	Bajo	Aceptable
	0 %	50 %	Medio	
	50,0 %	50 %	Alto	



**Tabla 5. Resultados Obtenidos en las Partes I y II de la Prueba Escrita por Categoría Esquemática**

Categorías Esquemáticas	PARTE I		PARTE II
	Puntaje Promedio*	Definición de Hidrólisis	Ecuación de Hidrólisis de un Dipéptido
<b>B</b>	4,9 pts	Se definió en términos de <i>ruptura de un enlace con liberación de agua</i> . (NAC)	Este grupo presentó la ecuación química en términos relativamente aceptables, aunque habían aspectos faltantes o no claros. (NAC)
<b>C</b>	3,1 pts	Se definió en términos muy variables como <i>ruptura de agua, liberación de hidrógeno, unión de H y O, ruptura de enlace por agua</i> sin presentar una idea clara. (NAC)	Este grupo presentó la ecuación química en términos muy deficientes, completamente inaceptables. (NAC)
<b>D</b>	11,0 pts	Se definió como <i>ruptura de un enlace por acción o adición de moléculas de agua</i> . (AC)	Este grupo presentó la ecuación química en términos aceptables. (AC)

\* El puntaje máximo de esta parte de la prueba escrita, referida a Selección Simple, era 13 puntos (1 punto por ítem).

AC = aceptable científicamente; NAC = no aceptable científicamente.

Los esquemas B y C tienen una **regla de acción** común: “si están presentes los aminoácidos que se destruyen por la hidrólisis química, entonces ocurrirá ruptura del enlace peptídico que los une, de otro modo queda intacta la cadena peptídica”. Sin embargo, aunque la permanencia de la Categoría B frente al Problema 2 revela su estabilidad en casi el 50% de los estudiantes (Tablas 2 y 3), tampoco logra explicar adecuadamente la hidrólisis química. Esto se puede apreciar, por ejemplo, en la entrevista del estudiante 1B, quien contradice las respuestas de los ítemes 11 y 13 con las de los ítemes 7 y 8 de la Prueba Escrita (anexo B).

Finalmente, se puede apreciar que la Categoría D se corresponde con un esquema muy estable, funcional, eficiente y eficaz, válido científicamente, que permite dar respuesta a las situaciones similares encontradas. Esto se puede apreciar especialmente para el estudiante 1D

(ver anexos) que mostró un nivel elevado de elaboración de su esquema de asimilación, con un alto desempeño en todas las situaciones abordadas (Tablas 4 y 5). Es posible que los estudiantes de esta categoría esquemática hayan pasado de la Categoría B a la Categoría D después de un proceso crítico de reflexión, ya que la Categoría D no apareció inicialmente sino con el Problema 2 y se mantuvo coherente y estable posteriormente en la Entrevista, Prueba Escrita, así como en la elaboración de Mapas Conceptuales.

Los hallazgos de esta investigación son consistentes con la idea de Vergnaud (citado en Rodríguez Palmero y Moreira, 2002, p.81) de que el conocimiento progresivamente se desarrolla a través de la construcción de representaciones mentales; las mismas conducen a la formación de esquemas de asimilación estables en la memoria a largo plazo, proceso en el que los subsumidores se modifican (Rodríguez Palmero, 2004, p.7,8). En este sentido, se puede decir que el esquema A se corresponde con subsumidores menos elaborado que el C, y éste menos elaborado que el B, todos ellos ineficaces por falta de una discriminación y relación conceptual adecuada, a diferencia del esquema D que tiene invariantes operatorios que pueden dar cuenta de un aprendizaje significativo útil para responder a situaciones similares futuras.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

La mayoría de los estudiantes activaron esquemas categorizados como A, B y C, para abordar situaciones referidas a hidrólisis no enzimática de péptidos, relacionados con un bajo desempeño en la elaboración de mapas conceptuales y en la prueba escrita, no acordes con lo aceptado científicamente. Sin embargo, el esquema de la categoría D, que mostró ser consistente con el modelo científico sobre hidrólisis peptídica, fue activado sólo por dos estudiantes, aunque solo uno de ellos respondió con un elevado desempeño. El esquema A funcionó más bien como un modelo mental, mientras que el B y C pudieron ser esquemas alternativos usados por algunos estudiantes, aunque la mayoría usó uno u otro.

Se recomienda profundizar en el estudio del concepto de hidrólisis en péptidos y diseñar estrategias didácticas que permitan la construcción de esquemas similares al D, compatible con el significado conceptual científicamente aceptado. Asimismo, se recomienda estudiar la aplicación de dicho concepto en otros tipos de estructuras macromoleculares para precisar invariantes operatorios que caractericen los esquemas utilizados por los estudiantes como proceso constructivo de dicha conceptualización.

## REFERENCIAS

- Andrés, M. y Pesa, M. (2004). Conceptos-en-acción y teoremas-en-acción en un trabajo de laboratorio de física. *Revista Brasileira Pesquisa em Educacao en Ciencias*, 4(1), 59-75
- Bravo, S. y Pesa, M. (2005). *Esquemas y modelos de alumnos universitarios sobre propagación de ondas mecánicas*. [Documento en línea]. Disponible: [http://www.blues.uab.es/~sice23/congres2005/material/comuni\\_orales/2](http://www.blues.uab.es/~sice23/congres2005/material/comuni_orales/2) [Consulta: 2006, Marzo 15]
- Caballero, M<sup>a</sup> Concesa (2003). La progresividad del aprendizaje significativo de conceptos. *Actas del Pidec*, 5, pp.137-154
- Covalada, R., Moreira, M.A. y Caballeros, C. (2005). Los significados de los conceptos de sistema y equilibrio en el aprendizaje de la mecánica. Estudio exploratorio con estudiantes universitarios. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), pp. 1-38
- Gomes de Sousa, C.M. y Fávero, M.H. (2004). Análise de uma situação de problemas de física, em situação de interlocução entre um especialista e um novato, ã luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. En M.A. Moreira (Org.), *A Teoría dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciencias e a Investigação nesta Área* (pp.59-81). Porto Alegre, Brasil: Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Gray, H.B. y Haight, G.P. (1978). *Principios básicos de química*. España: Editorial Reverté, S.A.
- Llancaqueo, A., Caballeros, M.C. y Moreira, M.A. (2003). El aprendizaje del concepto de campo en física: una investigación exploratoria a la luz de la teoría de Vergnaud. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25(4), pp. 1-29
- Lehninger, A.L. (1984). *Bioquímica* (2a. ed.). Barcelona, España: Ediciones Omega, S.A.
- Maron, H.M. y Lando, J.B. (1978). *Fisicoquímica fundamental*. México: Editorial Limusa
- Moreira, M.A. (2004). La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área. En M.A. Moreira e I.M. Greca (Orgs.), *Sobre Cambio Conceptual, Obstáculos Representacionales, Modelos Mentales, Esquemas de Asimilación y Campos Conceptuales* (pp.67-94). Porto Alegre, Brasil: Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Morrison, R.T. y Boyd, R.N. (1973). *Organic chemistry* (3a. ed.). USA: Allyn and Bacon, Inc.
- Rodríguez Palmero, M.L. (2004). La teoría del aprendizaje significativo. [Documento en línea]. Disponible: <http://cmc.ihmc.us/papers/cmc2004-290.pdf> [Consulta: 2006, Junio 12]
- Rodríguez Palmero, M.L. y Moreira, M.A. (2002). La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud. *Actas del Pidec*, 4, pp.55-87
- Slabaugh, W.H. y Parsons, T.D. (1974). *Química general*. México: Editorial Limusa, S.A.
- Vergnaud, G. (1990). La teoría de los campos conceptuales. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(2,3), pp.133-170

## ANEXO A

### Segmentos de la Entrevista al Sujeto 1B

#### RESPUESTAS ESCRITAS DEL PROBLEMA 2

Péptido asignado: bradiquinina: Arg-Pro-Pro-Gly-Phe-Ser-Pro-Phe-Arg

HIDRÓLISIS ÁCIDA: Arg-Pro-Pro-Gly-Phe (pentapéptido) + Pro-Phe-Arg (tripéptido)

HIDRÓLISIS BÁSICA: Arg, Pro, Pro, Gly, Phe, Pro, Phe, Arg (Formas libres; mezclas racémicas con formas L y D).

**Sujeto 1B:** ... yo tengo este péptido, bradiquinina... ¿qué pasa cuando uno aplica la **HIDRÓLISIS ÁCIDA**? Bueno, se destruye triptófano, serina y treonina. Entonces, aquí no hay triptófano; serina hay aquí, ésta se destruye, y treonina, treonina no hay. Entonces, ésta [serina] se destruye, verdad? Y me va a quedar... este pentapéptido y éste tripéptido. Ahora... para que se forme una mezcla racémica el aminoácido debe estar solo, ... porque ... cuando se forma un equilibrio entre la forma D y la forma L, entonces aquí [los péptidos liberados] ... aquí no se puede formar una mezcla racémica ... porque ellos están unidos mediante enlaces peptídicos.

**Investigador:** Y ¿cuál es la explicación para la **HIDRÓLISIS BÁSICA**?

**Sujeto 1B:** Bueno, ... la hidrólisis básica destruye cisteína, serina, treonina y cistina. Entonces aquí hay serina ... y no hay treonina, no hay cisteína tampoco, ni cistina. Se destruye serina, pero ¿qué pasa? La hidrólisis básica produce la racemización de todos los aminoácidos, es decir, que todos ellos se tienen que separar para poder formar mezcla racémica. Ahora, ¿cuál es mi teoría? Mi teoría es que todos ellos se separan, verdad? y quedan todos libres, se forma la mezcla racémica, es decir, que vamos a tener un porcentaje de L y D arginina, ...

Por lo anteriormente dicho, se puede deducir que el concepto de hidrólisis química aplicada a péptidos del Sujeto 1B se rige principalmente por el concepto de “especificidad hidrolítica”, por el teorema en acción “el grado de racemización condiciona la hidrólisis”, así como por la siguiente regla de acción deducida del contexto “si no hay racemización de todos los aminoácidos, no hay hidrólisis”.

## Segmentos de la Entrevista al Sujeto 1C

### RESPUESTAS ESCRITAS DEL PROBLEMA 2

Péptido asignado: Hormona estimulante de los  $\alpha$ -Melanocitos: Arg-Pro-Lys-Pro-Gln-Phe-Phe-Gly-Leu-Met

HIDRÓLISIS ÁCIDA: Arg-Pro-Lys-Pro-Gln-Phe-Phe-Gly-Leu-Met (Destruye Trp, Ser y Thr; no ocurre nada; para que se dé la hidrólisis ácida, debe haber una mezcla racémica que al destruir los aminoácidos queda una mezcla de configuración L y D de cada aminoácido).

HIDRÓLISIS BÁSICA: Arg-Pro-Lys-Pro-Gln-Phe-Phe-Gly-Leu-Met (Destruye Cys, cistina, Ser y Thr; no ocurre nada; en el caso de esta hidrólisis, se produce una racemización completa al destruir los aminoácidos, es decir, que se forman aminoácidos en configuración L y D).

**Sujeto1C:** ... con la HIDRÓLISIS ÁCIDA se destruyen los aminoácidos triptófano, serina y treonina, ... glutamina y asparagina se convierten en ... glutámico y aspártico. La hidrólisis básica produce la racemización de todos los aminoácidos ... Entonces, ... buscando lo que es racemización ... cuando los aminoácidos al ser destruidos adoptan una configuración ... L y D, lo que es la mezcla racémica.

**Investigador:** ¿Al ser destruidos?

**Sujeto1C:** Sí ..., por lo menos en la hidrólisis ácida ... éste... la mezcla racémica va a destruir a los aminoácidos que va a quedar una configuración de un poquito de L y un poquito de D de los aminoácidos, ... del resto de los aminoácidos ... Cuando se rompe un enlace peptídico, un ejemplo ... en nuestro compuesto no hay triptófano, ni serina, ni treonina. ... Entonces, ... Por lo menos, ... éste... para que se dé la hidrólisis ácida deben haber estos tres tipos de aminoácidos... para la parte de la HIDRÓLISIS BÁSICA ... la racemización va a ser completa. Entonces, aquí en este caso se van a formar aminoácidos con configuración L y configuración D ...

El Sujeto 1C no logra elaborar una explicación satisfactoria sobre los conceptos en acción referidos a destrucción de aminoácidos, conversión de aminoácidos, enantiómeros, racemización y especificidad hidrolítica. En su razonamiento aparece una regla en acción: "si no están presentes algunos aminoácidos específicos, entonces no ocurrirá

la hidrólisis química”. La expresión verbal del sujeto “para que se dé la hidrólisis ácida deben haber estos tres tipos de aminoácidos” refleja el concepto en acción “especificidad hidrolítica”.

## **Segmentos de la Entrevista al Sujeto 1D**

### RESPUESTAS ESCRITAS DEL PROBLEMA 2

Péptido asignado: Factor natriurético: Tyr – Gly – Gly – Phe – Met

HIDRÓLISIS ÁCIDA: L-Tyr + 2 L-Gly + L-Phe + L-Met + D-Tyr + 2 D-Gly + D-Phe + D-Met (en poca proporción).

HIDRÓLISIS BÁSICA: L,D-Tyr + 2 L,D-Gly + LD-Phe + L,D-Met

**Sujeto 1D:** *De acuerdo con lo que leímos de la HIDRÓLISIS ÁCIDA se destruyen lo que es el triptófano, serina y treonina, pero como aquí no teníamos ninguno de estos aminoácidos se obtenían los mismos aminoácidos... y ocurre poca racemización, o sea, se obtienen los aminoácidos con su configuración L y los mismos aminoácidos con la configuración contraria pero poca ... en menor proporción porque dice que es poca racemización ... con la HIDRÓLISIS BÁSICA es prácticamente igual porque no se destruye, .. o sea, los aminoácidos que se destruyen tampoco los tenemos aquí en el péptido. La diferencia que hay con la hidrólisis ácida es que aquí ocurre la racemización ... es completa porque se obtendrían los dos ... tanto L como D en las mismas proporciones. ... Y aquí ... como dice racemización completa, cuando uno tiene una mezcla racémica uno tiene los dos estereoisómeros en las mismas proporciones ...*

El esquema activado por el Sujeto 1D para la hidrólisis química es consistente con el modelo científico y contiene los siguientes ingredientes de manera prevaleciente y diferencial con relación a los otros esquemas: el concepto en acción “no especificidad hidrolítica”, el teorema en acción “la hidrólisis ácida y básica difieren en la proporción de racemización que producen en los aminoácidos liberados”, así como la siguiente regla de acción “si la hidrólisis es ácida o básica, entonces se liberan todos los aminoácidos destruyéndose algunos específicos y modificándose otros”.

Anexo B

Tabla 6. Respuestas a los Ítemes de Selección Simple de los Estudiantes 1B, 1C y 1D Entrevistados

ÍTEMES	RESPUESTAS DE LOS ESTUDIANTES		
	1B	1C	1D
1. El término "hidrólisis" significa ...	Ruptura química promovida por la molécula de agua. (AC)	Separación del agua de una molécula. (NAC)	Ruptura química promovida por la molécula de agua. (AC)
2. En una reacción de hidrólisis ...	Un átomo de hidrógeno rompe un enlace. (NAC)	Un átomo de hidrógeno rompe un enlace. (NAC)	Una molécula de agua rompe un enlace. (AC)
3. En la hidrólisis de un péptido en general ...	Se incorpora un protón al enlace peptídico rompiéndolo. (NAC)	Se incorpora un protón al enlace peptídico rompiéndolo. (NAC)	Se incorpora una molécula de agua al enlace peptídico rompiéndolo. (AC)
4. En una reacción de hidrólisis peptídica ocurre ...	Separación del grupo amino y grupo carboxilo del enlace peptídico. (AC)	Separación del grupo amino y grupo carboxilo del enlace peptídico. (AC)	Separación del grupo amino y grupo carboxilo del enlace peptídico. (AC)
5. La hidrólisis enzimática y no enzimática de un péptido son similares en que ...	Ambas rompen un enlace peptídico. (AC)	Ambas rompen un enlace peptídico. (AC)	Ambas rompen un enlace peptídico. (AC)
6. La hidrólisis enzimática de péptidos difiere de la no enzimática en que ...	Reconoce aminoácidos específicos. (NAC)	Reconoce un enlace peptídico unido a un aminoácido específico. (AC)	Reconoce un enlace peptídico unido a un aminoácido específico. (AC)
7. La hidrólisis ácida no enzimática del péptido Arg-Pro-Gly-Trp-Val-Ile genera los siguientes péptidos ...	Liberación de dos péptidos Arg-Pro-Lys + Val-Leu y destrucción del triptófano. (NAC)	Liberación de dos péptidos Arg-Pro-Lys + Val-Leu y destrucción del triptófano. (NAC)	Liberación de todos los aminoácidos y destrucción del triptófano. (AC)
8. En la hidrólisis no enzimática de tipo ácida para el péptido Arg-Gly-Gln-Lys-Asp el producto es ...	Arg-Gly-Glu + Lys-Asp (NAC)	Arg-Gly + Glu-Lys-Asp (NAC)	Arg+Gly+Gln+Lys+Asp (AC)
9. Lo siguiente es cierto acerca de la hidrólisis peptídica ...	La hidrólisis destruye la estructura primaria. (AC)	La hidrólisis peptídica es lo mismo que desnaturalización proteica. (NAC)	La hidrólisis destruye la estructura primaria. (AC)
10. En la hidrólisis no enzimática de tipo ácida y básica de un péptido lo siguiente es cierto ...	El equilibrio de la reacción favorece la liberación de aminoácidos. (AC)	Se destruyen algunos aminoácidos por la racemización. (NAC)	El equilibrio de la reacción favorece la liberación de aminoácidos. (AC)
11. La hidrólisis básica no enzimática del péptido es similar a la ácida en lo siguiente ...	Ambas destruyen aminoácidos específicos liberando el resto de los aminoácidos. (AC)	Ambas destruyen aminoácidos específicos sin alterar el resto del péptido. (NAC)	Ambas destruyen aminoácidos específicos liberando el resto de los aminoácidos. (AC)
12. La racemización que ocurre en la hidrólisis no enzimática ácida y básica de un péptido es un proceso que se caracteriza por ...	La formación de enantiómeros sin destruirlos. (AC)	La conversión de D-aminoácidos del péptido a L-aminoácidos. (NAC)	La formación de enantiómeros sin destruirlos. (AC)
13. En la hidrólisis básica del péptido Arg-Pro-Ile-His-Glu-Asp ocurre lo siguiente ...	Se liberan todos los aminoácidos y se racemizan. (AC)	La cadena queda intacta y se racemizan los aminoácidos. (NAC)	Se liberan todos los aminoácidos y se racemizan. (AC)
Nº DE RESPUESTAS AC	8	3	13
(Total 13 puntos)			



## Anexo C

**Tabla 7.** Respuestas a las Preguntas Abierta de la Prueba Escrita de los Estudiantes 1B, 1C y 1D Entrevistados

ESTU-DIANTE	DEFINE CON TUS PROPIAS PALABRAS LO QUE ENTIENDES POR HIDRÓLISIS	REPRESENTA MEDIANTE UNA ECUACIÓN QUÍMICA, EMPLEANDO LA CORRESPONDIENTE ESTRUCTURA, LO QUE OCURRE EN LA REACCIÓN DE HIDRÓLISIS DEL PÉPTIDO ALA-GLY *
1B	Ruptura de un enlace químico con pérdida de moléculas de agua. (NAC)	$  \begin{array}{c}  \text{O} \\  \parallel \\  \text{H}_3\text{N}^+ - \text{CH} - \text{C} - \text{N}^- - \text{CH} - \text{COO}^- \\    \quad   \quad   \\  \text{H} \quad \text{CH}_3 \quad \text{H} \quad \text{H}  \end{array}  \xrightarrow{\text{Agente hidrolítico}}  \begin{array}{c}  \text{H}_3\text{N}^+ - \text{CH} - \text{COO}^- \\    \\  \text{CH}_3  \end{array}  +  \begin{array}{c}  \text{H}_3\text{N}^+ - \text{CH}_2 - \text{COO}^- \\    \\  \text{CH}_3  \end{array}  $
1C	(No respondió)	(No lo resolvió)
1D	Reacción Química en la que se rompe un enlace(s) por la adición de una(s) molécula(s) de agua. Hidro (agua), lisis (ruptura), "ruptura por agua". (AC)	$  \begin{array}{c}  \text{O} \\  \parallel \\  \text{H}_3\text{N}^+ - \text{CH} - \text{C} - \text{NH} - \text{CH} - \text{COO}^- \\    \quad   \\  \text{CH}_3 \quad \text{H}  \end{array}  + \text{H}_2\text{O}  \longrightarrow  \begin{array}{c}  \text{H}_3\text{N}^+ - \text{CH} - \text{COO}^- \\    \\  \text{CH}_3  \end{array}  +  \begin{array}{c}  \text{H}_3\text{N}^+ - \text{CH}_2 - \text{COO}^- \\    \\  \text{CH}_3  \end{array}  $

\* La estructura del péptido fue proporcionada por el docente para evitar que se dejara de aplicar el concepto por no recordar las estructuras respectivas de los aminoácidos constituyentes del péptido