

## APRENDIZAJE BASADO EN JUEGOS: UNA ESCAPE-ROOM ON-LINE DE AMINOÁCIDOS Y PROTEÍNAS

*Data de aceite: 01/12/2023*

### **Josep Joan Centelles**

Departament de Bioquímica i Biomedicina Molecular. Facultat de Biologia. Universitat de Barcelona. Avda. Diagonal 643. 08028-Barcelona  
Orcit: 0000-0002-6289-9678

### **Santiago Imperial**

Departament de Bioquímica i Biomedicina Molecular. Facultat de Biologia. Universitat de Barcelona. Avda. Diagonal 643. 08028-Barcelona  
Orcit: 0000-0001-8749-1428

### **Sandra Pérez-Torras**

Departament de Bioquímica i Biomedicina Molecular. Facultat de Biologia. Universitat de Barcelona. Avda. Diagonal 643. 08028-Barcelona  
Orcit: 0000-0002-2785-5602

### **Estefania Moreno**

Departament de Bioquímica i Biomedicina Molecular. Facultat de Biologia. Universitat de Barcelona. Avda. Diagonal 643. 08028-Barcelona  
Orcit: 0000-0002-2491-5753

### **Pedro R. de Atauri**

Departament de Bioquímica i Biomedicina Molecular. Facultat de Biologia. Universitat de Barcelona. Avda. Diagonal 643. 08028-Barcelona  
Orcit: 0000-0002-7754-7851

**RESUMEN:** Hace algunos años, en una reunión del Consejo de Estudios del grado de Química de la Universitat de Barcelona, se decidió cambiar la asignatura de Bioquímica al séptimo semestre. Sin embargo, la materia de Biología se mantuvo en el primer semestre. Aunque actualmente los estudiantes poseen una mejor y más sólida formación en Química Orgánica, la amplia brecha semestral entre la Biología y la Bioquímica dificulta a los estudiantes la retención de conocimientos sobre la estructura de las biomoléculas, que se abordan en Biología. Esta situación nos llevó a reflexionar sobre métodos de innovación que pudieran servir como herramientas de refuerzo o de autoaprendizaje sobre las biomoléculas. Es ampliamente reconocido que los pasatiempos son una fuente de entretenimiento muy valiosa para muchas personas. Los juegos de letras, como crucigramas y sopas de letras, así como los juegos numéricos, como sudokus, sumas y restas, son especialmente populares. Durante el periodo de la pandemia, creamos una gran variedad de juegos de letras para nuestros estudiantes, que incluían: palabras sin ciertas sílabas o grupos de letras, sopas de letras, anagramas, laberintos [1], palabras codificadas [2], palabras encadenadas, juegos del salto de

caballo y juegos de lógica. Inspirados en una Escape-room que nuestro grupo de innovación docente, QuiMet, había creado previamente [3], diseñamos una Escape-room centrada en las biomoléculas. Utilizando la plataforma de cuestionarios de Google Drive, la estructuramos en 9 Apartados con juegos dedicados a la estructura de aminoácidos y de las proteínas: estructura primaria, secundaria, supersecundaria, terciaria y cuaternaria, además de los dominios proteicos. En cada apartado, se formulaba una pregunta relacionada con el juego y la respuesta correcta permitía avanzar al siguiente nivel. Dado que el grado de Química de la Universitat de Barcelona sigue un modelo de doble semestralización, estos cuestionarios fueron completados por los 39 estudiantes inscritos en el semestre de otoño y los 67 del semestre de primavera. Al concluir, se les hizo una serie de preguntas para evaluar su satisfacción con la actividad. Los resultados indicaron que los estudiantes valoraron muy positivamente esta dinámica, ya que les permitió reforzar su conocimiento sobre la estructura de las proteínas mientras se divertían al mismo tiempo.

**PALABRAS CLAVE:** Gamificación, Aminoácidos, Proteínas, Bioquímica, Escape-room

## INTRODUCCIÓN

La educación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, conocida por sus siglas en inglés como STEM, tiene como principal objetivo potenciar las habilidades de los estudiantes en estas esenciales disciplinas, integrándolas de manera cohesiva para proporcionar una experiencia educativa más completa [4]. Los juegos, en estas disciplinas, emergen como herramientas poderosas capaces de incentivar y motivar a los estudiantes en múltiples facetas de su aprendizaje [5]. La gamificación, entendida como la integración de elementos y mecánicas lúdicas en entornos educativos, ha revolucionado el sistema de aprendizaje. Esta estrategia nos impulsa a involucrarnos activamente, desatando nuestro máximo potencial y elevando nuestro grado de compromiso y desempeño.

Bajo la óptica del constructivismo, se entiende que el aprendizaje se potencia a través de experiencias placenteras y significativas. Esta perspectiva posiciona al juego como un componente esencial para alcanzar logros académicos relevantes. Ante el desafío de la desmotivación en el aula [6], es imperativo explorar nuevas técnicas innovadoras que capturen al alumnado. En la actual era digital, donde la capacidad de atención es efímera y teniendo en cuenta que la motivación es el pilar del éxito académico, la gamificación emerge como un recurso indispensable para el estudio. No sólo nos desafía y entretiene, sino que también cataliza lo mejor de nosotros mismos, ofreciendo una experiencia de aprendizaje enriquecedora.

Durante el periodo de confinamiento, a causa de la pandemia, nuestro equipo desarrolló una serie de juegos inspirados en distintos pasatiempos [7, 8, 9, 10, 11]. Estos se clasificaron según su naturaleza en: juegos basados en palabras que no presentan alguna sílaba, que podía ser la misma en todas ellas (que presentan rimas) o diferente [12, 13], anagramas [1], laberintos [14], juegos que utilizaban códigos [2] y técnicas de encadenar palabras o juegos de domino de palabras y estructuras [15]. También incorporamos el

reto del juego del “salto del caballo” con diferentes casillas [16] como parte de nuestras propuestas. Considerando que muchos de estos juegos culminan en el descubrimiento de una palabra o frase clave, y dado el auge y aprecio por las Escape-room como modalidad lúdica, diseñamos también algunas de ellas, que se centran en la deducción de estas palabras o frases esenciales para el aprendizaje. Un ejemplo destacado es nuestra Escape-room en inglés centrada en el ciclo de Krebs [3].

## OBJETIVOS

Dentro del plan de estudios del grado de Química de la Universitat de Barcelona, el Consejo de Estudios decidió reubicar la asignatura de Bioquímica, moviéndola del cuarto al séptimo semestre. Esta decisión generó una considerable distancia temporal entre las materias de Biología, impartida en el primer semestre, y Bioquímica. Después de 6 semestres de docencia, equivalentes a 3 años si el estudiante sigue adecuadamente el programa del grado de Química, es comprensible que se presenten dificultades para retener la nomenclatura y otros conceptos abordados en Biología. Por esta razón, el principal propósito de este estudio fue refrescar y reforzar aquellos aspectos que los estudiantes podrían haber olvidado. Para lograrlo, propusimos el diseño de una Escape-room centrada en la estructura de las biomoléculas, enfocándonos específicamente en los aminoácidos y las proteínas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo la implementación de la Escape-room, optamos por desarrollar un cuestionario en línea a través de Google Forms, una herramienta integrada en Google Drive que permite la creación y administración de encuestas personalizadas [17]. Estos formularios ofrecen la ventaja de estructurarse en distintos Apartados o Secciones y de adaptarse a diversos formatos de preguntas: respuestas cortas, respuestas desarrolladas, elección múltiple, casillas de verificación, listas desplegables, carga de archivos, escalas lineales, matrices de selección y matrices de verificación, así como la posibilidad de escribir fechas y horas.

En cada Apartado del cuestionario, se proponía un juego o desafío cuya solución podía ser una palabra, frase o valor numérico. Esta respuesta, ya fuera alfanumérica o simplemente numérica, se establecía como un requisito indispensable, actuando como la “clave” que permitiría avanzar al siguiente Apartado. En situaciones donde la respuesta solicitada era numérica, por ejemplo, al resolver un problema específico, se aceptaban respuestas dentro de un rango definido para considerarlas correctas. Finalmente, el cuestionario concluía con una escala tipo Likert, donde se evaluaba el grado de satisfacción de los estudiantes respecto a la actividad propuesta.

## RESULTADOS

La Escape-room se preparó con los 9 Apartados que se desarrollan a continuación:

**Apartado 1.-** En este Apartado los estudiantes se encuentran con una breve introducción destinada a familiarizarlos con el proceso del juego o la actividad. Es esencialmente una sección de orientación que no está directamente relacionada con el contenido educativo, sino que sirva como preparación para lo que prosigue. Las preguntas iniciales son de carácter administrativo y personal. Estas son:

**Nombre del estudiante:** Esta pregunta busca identificar a cada participante. Saber quién está participando puede ser útil para los educadores a la hora de hacer un seguimiento del progreso o para poder proporcionar respuesta si posee dificultades con las “claves” de la Escape-room en algún momento.

**Correo electrónico:** Esto se utiliza para confirmar que el participante se conecta con un correo de la Universitat de Barcelona. Además, podría ser útil para enviarle alguna “clave” u otros recursos adicionales, en caso de precisarlos.

**Hora de inicio del juego:** Registrar la hora de inicio puede ser útil para entender cuánto tiempo lleva a los estudiantes completar la actividad, lo que a su vez puede informar a los educadores sobre la eficacia y la duración aproximada del juego completo.

**Comentario inicial:** Dar a los estudiantes la oportunidad de proporcionar comentarios iniciales puede ofrecer a los educadores una idea de las expectativas, inquietudes o emociones de los estudiantes antes de empezar la actividad. Estos comentarios iniciales pueden ser comparados con las reflexiones o comentarios finales para medir cualquier cambio en la percepción o comprensión del estudiante.

Las respuestas a estas preguntas son de tipo abierto permitiendo un número limitado de caracteres, pero en el cuestionario se marca la necesidad de que sea obligatorio responderlas. Esto garantiza que los educadores recopilen toda la información administrativa y personal necesaria antes de que el estudiante proceda con el resto de la actividad o juego.

**Apartado 2.-** En este Apartado, mediante un breve resumen, se introduce a los estudiantes al mundo de los aminoácidos, específicamente los que son más comunes en las proteínas. Se proporciona también una clasificación de estos aminoácidos según el carácter de su grupo R lateral (ácido, neutro o básico) (ver Figura 1),

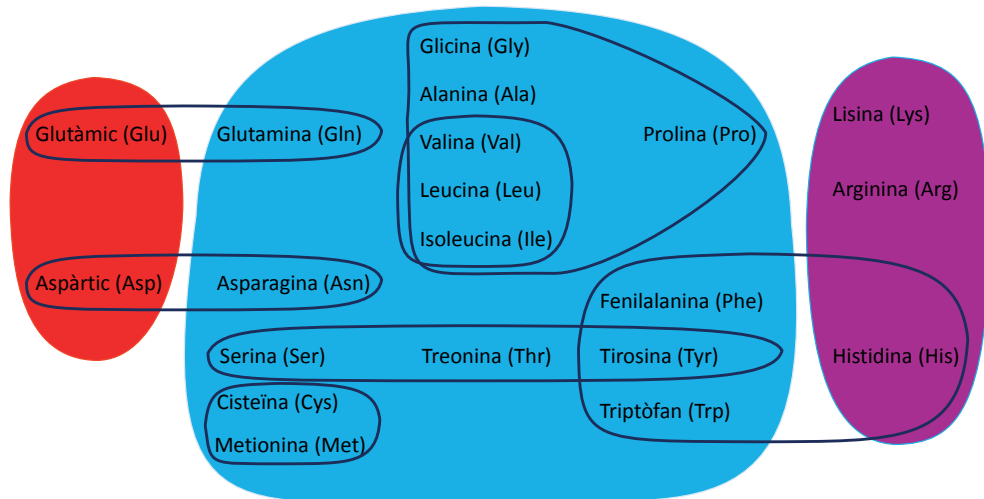


Figura 1.- Clasificación de los aminoácidos que forman parte de las proteínas. Se muestran los aminoácidos con R ácido (subconjunto rojo), los aminoácidos con R neutros (subconjunto azul celeste) y los aminoácidos con R básico (subconjunto violeta).

Aunque cada aminoácido tiene un nombre completo, a menudo son abreviados por comodidad, ya sea utilizando tres letras o una sola letra, como se detalla en la Tabla 1. No se presenta una figura con las fórmulas desarrolladas, pero se solicita al estudiante que repase las fórmulas en el libro de Bioquímica.

Aminoácido	Abreviatura de 3 letras	Abreviatura de 1 letra
Alanina	Ala	A
Arginina	Arg	R
Aspártico	Asp	D
Asparagina	Asn	N
Cisteína	Cys	C
Fenilalanina	Phe	F
Glicina o Glicocola	Gly	G
Glutámico	Glu	E
Glutamina	Gln	Q
Histidina	His	H
Isoleucina	Ile	I
Leucina	Leu	L
Lisina	Lys	K
Metionina	Met	M
Prolina	Pro	P
Serina	Ser	S
Tirosina	Tyr	Y
Treonina	Thr	T
Triptófano	Trp	W
Valina	Val	V

Tabla 1.- Nomenclatura sistemática de los 20 aminoácidos más frecuentes presentes en las proteínas, con la nomenclatura de 3 letras y de 1 letra de cada uno de ellos

La nomenclatura de los aminoácidos puede variar según su nombre sistemático o su nomenclatura química, pero se utiliza más a menudo la sistemática. Aunque cada aminoácido tiene un nombre completo, a menudo son abreviados por comodidad, ya sea utilizando tres letras o una sola letra, como se detalla en la Tabla 1. El estudiante debe discernir entre las respuestas 1, 2, 3, 4, 6, 12 o 15, y se preguntaba: ¿cuántos aminoácidos poseen un R ácido? ¿cuántos aminoácidos poseen un R neutro? Y ¿cuántos aminoácidos poseen un R básico? Se esperaba que los estudiantes marcaran como soluciones 2, 15 y 3 respectivamente, analizando la Figura 1. Tras estas preguntas, se debía centrar el estudiante en los aminoácidos neutros. Se solicitaba una serie de preguntas sobre dichos aminoácidos neutros, y colocar dichos números uno detrás del otro, para conseguir la palabra clave y poder superar este Apartado. Las preguntas sobre los aminoácidos neutros eran: ¿cuántos aminoácidos poseen un grupo R alifático sin heteroátomos? ¿cuántos tienen un grupo R alifático neutro ramificado? ¿cuántos poseen un grupo R con alcohol? ¿cuántos un grupo R con azufre? ¿cuántos un grupo R aromático? Para estas preguntas era necesario que el estudiante repasara las fórmulas desarrolladas de los aminoácidos neutros.

Las respuestas a estas preguntas formaban una secuencia específica, que será la clave numérica: 63323. En efecto, son 6 los aminoácidos con R alifático sin heteroátomos (glicina, alanina, valina, leucina, isoleucina y prolina). Entre ellos, valina, leucina e isoleucina son los 3 aminoácidos con grupo R alifático ramificado. Los 3 aminoácidos que poseen un grupo alcohol son serina, treonina y tirosina. Los 2 aminoácidos que contienen azufre son cisteína y metionina. Finalmente, los 3 aminoácidos neutros aromáticos son fenilalanina, tirosina y triptófano. Es cierto que histidina también es un aminoácido aromático. Sin embargo, el imidazol de la histidina posee un carácter básico.

El objetivo principal de este apartado consistía en reforzar el conocimiento previo que los estudiantes adquirieron en su primer semestre de Biología durante el grado de Química. Esta actividad les desafía a recordar y aplicar ese conocimiento en un formato interactivo y atractivo.

**Apartado 3.-** Este Apartado profundiza en la estructura primaria de las proteínas, centrando la atención en el enlace peptídico que une a los aminoácidos. El enlace peptídico es el enlace que resulta de la unión del grupo amino de un aminoácido con el grupo carboxílico de otro aminoácido. Aunque este enlace se conoce comúnmente como enlace amida, en el contexto de los aminoácidos y las proteínas, se denomina enlace peptídico.

Si se considera un enlace peptídico entre dos aminoácidos (por ejemplo, una glicina y una alanina) cabe destacar que se pueden formar dos posibles péptidos: alaninilglicina o glicinilalanina. En química orgánica el grupo carboxílico tiene prioridad sobre el grupo amino. Esto afecta la forma en que se nombra un dipéptido, ya que el aminoácido que contribuye con el grupo carboxílico al enlace peptídico se denomina con la terminación “-il”.

En un dipéptido se puede definir el aminoácido que posee el grupo N-terminal o

extremo amino-terminal (el que termina en -il, y el que presenta el grupo amino libre) y el que posee el C-terminal o extremo carboxi-terminal (el que se nombra al final porque posee el grupo carboxílico libre).

En la Figura 2 se muestran cuatro posibles estructuras, de las cuales dos de ellas corresponden al dipéptido glicinil-alanina.

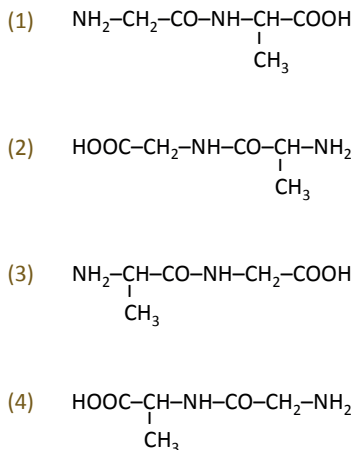


Figura 2.- Opciones posibles para el Apartado 3. Las proteínas se nombran desde el N-terminal o amino-terminal hasta el C-terminal o carboxi-terminal. Las opciones 1 y 3 están en el sentido habitual en el que se dibuja la estructura primaria. La glicinil-alanina corresponde a las estructuras de las moléculas 1 y 4, mientras que la alaninilglicina corresponde a las estructuras de las moléculas 2 y 3.

La palabra clave que permite pasar al Apartado siguiente serán los números, ordenados de menor a mayor, que corresponden a este dipéptido. Es decir, 14, ya que tanto 1 como 4 son el dipéptido glicinil-alanina.

**Apartado 4.-** Este Apartado se basa también en la estructura primaria de las proteínas. Aquí se analizan algunos métodos de secuenciación de las proteínas. Tal como se ha visto en el Apartado anterior, los péptidos o proteínas deben nombrarse desde el N-terminal hasta el C-terminal. La estructura primaria de las proteínas consiste, pues, en la secuencia de aminoácidos que contiene la cadena proteica, ordenados desde el extremo N-terminal hasta el extremo C-terminal. Se analizan diversos métodos para secuenciar la estructura primaria de las proteínas. Estos métodos se clasifican en métodos químicos (utilizando reactivos químicos para romper la estructura primaria) o métodos enzimáticos (utilizando enzimas para romper la estructura primaria). En la Tabla 2 se muestran algunos de estos métodos.

Reactivo utilizado	Lugar donde actúa
<b>QUÍMICO:</b>	
<b>Bromuro de cianógeno</b>	Lado carboxilo de los restos de Met
<b>O-iodobenzoato</b>	Lado carboxilo de los restos de Trp
<b>Hidroxilamina</b>	Enlaces Asn-Gly
<b>2-nitro-5-tiocianobenzoato</b>	Lado amino de los restos de Cys
<b>1-Fluoro-2,4-dinitrobenzoceno (FDNB) (reactivo de Sanger)</b>	Sobre el aminoácido N-terminal
<b>Degradación de Edman</b>	Permite secuenciar cadenas cortas de péptidos
<b>ENZIMÁTICO:</b>	
<b>Tripsina</b>	Lado carboxilo de los restos de Lys, Arg
<b>Clostripaína</b>	Lado carboxilo de los restos de Arg
<b>Quimotripsina</b>	Lado carboxilo de los restos de Phe, Trp, Tyr
<b>Proteasa de <i>Staphylococcus</i></b>	Lado carboxilo de los restos de Asp, Glu (para Glu no siempre)
<b>Trombina</b>	Lado carboxilo de los restos de Tyr, Trp, Phe, Leu, Met
<b>Carboxipeptidasa A</b>	Lado amino del aminoácido C-terminal (excepto Arg, Lys, Pro)

Tabla 2.- Métodos de secuenciación de la estructura primaria de las proteínas.

Actualmente es más fácil secuenciar la estructura primaria de una cadena proteica, pero al principio se utilizaba la degradación de Edman para secuenciar péptidos sencillos, que se obtenían tras hidrolizar una proteína en dichos fragmentos menores, mediante los diversos métodos de la Tabla 2. El siguiente paso de la secuenciación consistía en analizar los fragmentos y buscar la posible estructura comparando los fragmentos obtenidos mediante métodos de rotura diferentes.

En este Apartado se presenta un problema de secuenciación:

Se desea secuenciar un polipéptido, y por ello se realiza en primer lugar una hidrólisis completa, obteniendo los siguientes aminoácidos y la cantidad correspondiente: A 5, C 2, D 4, E 2, F 1, G 3, H 2, I 3, K 2, L 2, M 2, P 3, R 1, S 2, T 1, V 1, y Y 2. A continuación, el mismo péptido se hace reaccionar con FDNB (1-fluoro-2,4-dinitrobenzoceno) y se detecta 2,4-nitrofenilglutamato.

Se reducen los enlaces disulfuro (por si hay) y se separan dos muestras del péptido con los enlaces disulfuro reducidos.

La primera muestra se corta con tripsina y se obtienen 4 fragmentos (T1, T2, T3 y T4). Se separan los fragmentos, y mediante la degradación de Edman se determina la secuencia de los fragmentos:

T1: GASMALIK

T2: EGAAYHDFEPIDPR

T3: DCVHSD

T4: YLIACGPMTK

La segunda muestra se corta con bromuro de cianógeno y se obtienen 3 fragmentos (C1, C2 y C3), que una vez separados se secuencian mediante la degradación de Edman obteniendo:

C1: EGAAYHDFEPIDPRGASM

C2: TKDCVHSD



### C3: ALIKYLIACGPM

Con estos datos identificar el péptido y escribir la estructura del péptido, utilizando la nomenclatura de 1 letra de los aminoácidos, como palabra clave para superar el Apartado.

A partir de la Tabla 2 se observa que la tripsina rompe en los lados carboxilo de los residuos de lisina (Lys, K) y arginina (Arg, R). El único péptido que no posee R o K a la derecha es el péptido T3, que contiene D (aspártico, Asp). Es decir, que el péptido T3 es el C-terminal. Por otro lado, la fragmentación con bromuro de cianógeno rompe en los lados carboxilo de los residuos de metionina (Met, M). Aquí también se deduce que el C2 es el péptido C-terminal.

Por otro lado, tal como dice el problema, al reaccionar el péptido inicial con FDNB (1-fluoro-2,4-dinitrobenzono) se detecta 2,4-nitrofenilglutamato. A partir de aquí también se deduce que glutamato (Glu, E) es el aminoácido N-terminal. Con ello, se deduce que los fragmentos T2 y C1 son los N-terminales de ambos fragmentos.

Apartir de juntar los fragmentos C1-C3-C2 (C1 contiene el amino-terminal y C3 el carboxi-terminal) se obtiene la palabra clave: EGAAYHDFEPIDPRGASMALIKYLIACGPMTKDCVHSD. El mismo péptido se obtiene a partir de los fragmentos T2-T1-T4-T3. Es cierto que el orden de los fragmentos centrales podría ser T1-T4 o T4-T1, pero se deduce que el orden correcto es éste, debido al orden obtenido tras la fragmentación con bromuro de cianógeno.

Una de las dudas principales de los estudiantes consiste en la hidrólisis completa del péptido, que no genera asparagina (Asn, N) o glutamina (Gln, Q). Puesto que estos dos aminoácidos son las amidas del aspártico o glutámico y mediante una hidrólisis completa se hidrolizan todos los enlaces amida, es lógico que no se observen dichos aminoácidos. En este problema, sin embargo, estos aminoácidos no forman parte del péptido. Por ello, no hay el problema adicional de confundir asparagina (Asn, N) por aspártico (Asp, D) o glutamina (Gln, Q) por glutámico (Glu, E). Otro aspecto sería si existen puentes disulfuro, ya que hay 2 cisteínas que podrían formar un puente disulfuro. Pero esto no podremos saberlo si no se efectúa otros estudios.

**Apartado 5.** - Una vez superada la secuenciación de la estructura primaria entramos en un nuevo Apartado dedicado a la estructura secundaria. El enlace peptídico posee una estructura plana, pero los carbonos alfa pueden girar permitiendo algunos enlaces dependiendo de las interacciones y repulsiones entre grupos. Gopalasamudram Narayana Iyer Ramachandran, un físico hindú nacido en 1922 analizó diversos polipéptidos y observó que algunos ángulos eran posibles y otros no. La palabra clave para superar este Apartado consiste en el apellido del investigador que realizó este estudio: Ramachandran.

**Apartado 6.** - Ya dentro de la estructura terciaria, se presenta a los estudiantes la página web SCOP (Structural Classification of Proteins) [18], que clasifica las proteínas en los siguientes tipos:

Proteínas todo alfa

Proteínas todo beta

Proteínas alfa/beta (a/b)  
 Proteínas alfa y beta (a+b)  
 Proteínas multidominios (alfa y beta)  
 Proteínas y péptidos de membrana y superficie celular  
 Proteínas pequeñas  
 Proteínas de bovina enrollada (coiled-coil)  
 Estructuras de proteína de baja resolución  
 Péptidos  
 Proteínas diseñadas  
 Artefactos

Se presenta una introducción sobre las estructuras supersecundarias de las proteínas, y se solicita en este Apartado la numeración Taxid que aparece en esta página para la proteína “todo alfa” mioglobina de foca (Common Seal (*Phoca Vitulina*)). El número clave solicitado es: 9720.

**Apartado 7.-** Prosiguiendo con la estructura terciaria de las proteínas, en este Apartado se presenta en la Tabla 3, los puntos isoeléctricos de cada uno de los aminoácidos, y se solicita buscar los aminoácidos apolares. Estos aminoácidos serán los que en una proteína globular se sitúan en la zona hidrofóbica de la proteína, es decir enfocados hacia el interior.

Aminoácido	MW	pK1 (-COOH)	pK1 (-NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> )	pK1 (-R)	pl
A Alanina	89	2,34	9,69		6,01
C Cisteína	121	1,96	10,28	8,18	5,07
D Aspártico	133	1,88	9,60	3,65	2,77
E Glutámico	147	2,19	9,67	4,25	3,22
F Fenilalanina	165	1,83	9,13		5,48
G Glicina	75	2,34	9,60		5,97
H Histidina	155	1,82	9,17	6,00	7,59
I Isoleucina	131	2,36	9,68		6,02
K Lisina	146	2,18	8,95	8,95	10,53
L Leucina	131	2,36	9,60		5,98
M Metionina	149	2,28	9,21		5,74
N Asparagina	132	2,02	8,80		5,41
P Prolina	115	1,99	10,96		6,48
Q Glutamina	146	2,17	9,13		5,65
R Arginina	174	2,17	9,04	12,48	10,76
S Serina	105	2,21	9,15		5,68
T Treonina	119	2,11	9,62		5,87
V Valina	117	2,32	9,62		5,97
W Triptófano	204	2,38	9,39		5,89
Y Tirosina	181	2,20	9,11	10,07	5,66

Tabla 3.- Valores de pK de los 20 aminoácidos más frecuentes de las proteínas. Los aminoácidos apolares de la proteína no poseen un grupo R ácido o básico y se alejan de la zona acuosa, que se encuentra en el exterior de la proteína globular, es decir que se enfocaran hacia el interior de la proteína.

La palabra clave de este Apartado consiste en la nomenclatura de una letra de los aminoácidos apolares, ordenados por orden alfabético, es decir: AFGILMNPQVW.

**Apartado 8.**- Finaliza la Escape-room con un juego basado en la amidakuji japonesa, que se centrará en los dominios de las proteínas. La amidakuji es un juego de lotería, que en Asia se presenta en vertical en lugar de horizontal, y que hemos adaptado para nuestra escritura. En China este juego se denomina “pata fantasma” y en Corea “subir escaleras”. El juego se basa en la relación entre 2 conjuntos (los individuos y los premios que pueden ganar). Con los premios tapados, cada individuo pinta un par de líneas entre las líneas que llevan a los premios, y escoge una línea para obtener el premio.

En nuestra variación, para llegar al punto final, se debe seguir la línea horizontal hasta que se encuentra una línea vertical, que nos hace cambiar hasta la línea horizontal paralela, y se sigue hasta encontrar otra línea vertical o llegar al extremo de la línea horizontal. Al llegar al final de la línea, para complicar un poco el juego, colocamos dos opciones para que el estudiante eligiese la buena (Figura 3).

La palabra clave consiste en las soluciones para cada uno de los números de la izquierda: 1a2a3b4b5b6a.

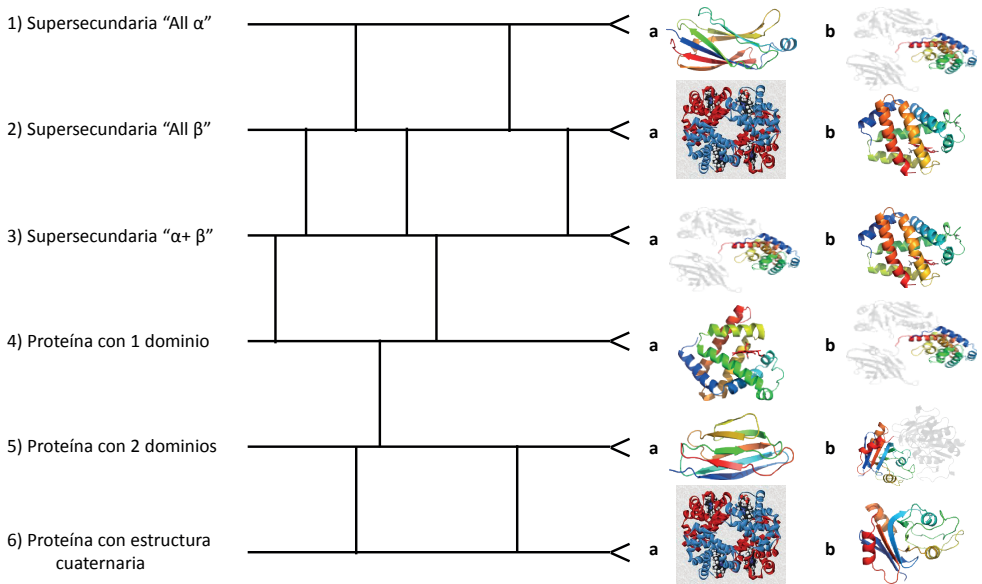


Figura 3.- Amidakuji que relaciona nombres de estructuras (numeradas) con dibujos de estas estructuras (con letras a, b). Siguiendo la línea horizontal se prosigue hasta alcanzar una línea vertical, que obliga a un cambio de línea, y se prosigue del mismo modo hasta llegar al final de una línea. Por ejemplo, la primera línea de la izquierda lleva hasta el cuarto grupo de la derecha.

**Apartado 9.**- Este Apartado consiste en el Apartado de felicitaciones y preguntas sobre la Escape-room. El estudiante se encuentra con los siguientes mensajes:

¡Felicidades por Completar la Escape-Room! Tu Opinión es Importante para nosotros.

¡Bravo! Has llegado al final de nuestra Escape-room dedicada a las estructuras proteicas. No es tarea fácil y tu esfuerzo y determinación son dignos de admiración. Esperamos que hayas disfrutado del viaje tanto como nosotros al diseñarlo para ti.

Pero la experiencia no termina aquí. Ahora que has concluido, nos gustaría conocer tu opinión sobre la actividad. La retroalimentación es una herramienta invaluable para mejorar y adaptar futuros desafíos y garantizar que sean tanto educativos como divertidos.

Por favor, tómate un momento para responder las siguientes preguntas:

Valora si te ha gustado esta Escape-room (Valora del 0 al 7)

Valora la dificultad de esta Escape-room (Valora del 0 al 7, siendo 0 extremadamente fácil y 7 extremadamente difícil)

Valora la utilidad de esta Escape-room (Valora del 0 al 7)

Valora si te has divertido con esta Escape-room (Valora del 0 al 7)

Valora si has encontrado interesante esta Escape-room (Valora del 0 al 7)

¿Te has encallado en esta Escape-room? (Valora del 0 al 7, siendo 0 en ningún momento y 7 constantemente)

¡Gracias por tu tiempo y dedicación! Tu retroalimentación nos ayudará a crear experiencias aún mejores en el futuro. ¡Esperamos que continúes explorando y aprendiendo con nosotros!

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el actual plan de estudios del grado de Química, se ha establecido que la materia de “Biología” se imparta durante el primer semestre, mientras que la “Bioquímica” se ofrezca en el séptimo. Esta considerable brecha de seis semestres entre ambas materias ha provocado que, al llegar al séptimo semestre, los estudiantes tengan dificultades para recordar los conceptos impartidos en Biología. Ante esta situación, vemos en la Escape-room, junto con otras actividades centradas en la estructura de otras biomoléculas, una herramienta potencialmente valiosa para refrescar sus conocimientos y prepararlos para los temas de Bioquímica.

Los comentarios proporcionados por los estudiantes al finalizar la Escape-room reflejan una percepción positiva de esta metodología. Algunas de las respuestas recabadas incluyen: “Es una herramienta excelente para fortalecer nuestros conocimientos” y “La dinámica propuesta resulta mucho más atractiva y provechosa en comparación con otras Escape-rooms a las que me he enfrentado”. Sin embargo, también hemos identificado áreas de mejora; por ejemplo, algunas críticas mencionan que: “la pregunta sobre la estructura primaria resultó excesivamente larga” y hay sugerencias como “reducir la dificultad”. Estos comentarios nos motivaron a realizar ajustes en ciertos Apartados, que parece ser mejoraron las apreciaciones de los alumnos en el semestre de primavera.

En relación con las puntuaciones numéricas otorgadas por los estudiantes, los

resultados son alentadores. En una escala donde 7 es el puntaje máximo, las calificaciones fueron los siguientes para los 39 estudiantes del semestre de otoño del curso 2022-2023:

Valora si te ha gustado esta Escape-room:  $5,7 \pm 0,3$

Valora la dificultad de esta Escape-room:  $6,3 \pm 0,3$

Valora la utilidad de esta Escape-room:  $5,7 \pm 0,3$

Valora si te has divertido con esta Escape-room:  $5,0 \pm 0,3$

Valora si has encontrado interesante esta Escape-room:  $5,4 \pm 0,4$

¿Te has encallado en esta Escape-room?:  $6,0 \pm 0,4$

Basándonos en estas valoraciones y comentarios, y comprometidos a perfeccionar y potenciar esta innovadora propuesta pedagógica, en el semestre de primavera, las puntuaciones numéricas otorgadas por los 67 estudiantes que lo cursaron mostraron que los estudiantes encontraron un poco menos difícil la Escape-room, se divirtieron un poco más, la encontraron un poco más interesante y se encallaron un poco menos:

Valora si te ha gustado esta Escape-room:  $5,7 \pm 0,3$

Valora la dificultad de esta Escape-room:  $5,8 \pm 0,2$

Valora la utilidad de esta Escape-room:  $5,7 \pm 0,3$

Valora si te has divertido con esta Escape-room:  $5,1 \pm 0,3$

Valora si has encontrado interesante esta Escape-room:  $5,5 \pm 0,3$

¿Te has encallado en esta Escape-room?:  $5,6 \pm 0,3$

## AGRADECIMIENTOS

Los autores pertenecemos al grupo de innovación docente consolidado QuiMet (Metabolismo en el Grado de Química) (GINDOC-UB/180) y agradecemos a RIMDA, Universitat de Barcelona, por el reconocimiento de nuestro trabajo. Agradecemos también a RIMDA, Universitat de Barcelona, la financiación de nuestro proyecto “Escape-room de Bioquímica para el autoaprendizaje: hidratos de carbono, aminoácidos, lípidos, enzimas, transportadores y receptores” (2022PMD-UB/020).

## REFERENCIAS

[1] J.J. Centelles; P.R. de Atauri; E. Moreno (2022). Capítulo 39. Utilización del contexto digital en docencia de Bioquímica: Pasatiempos para aprender la nomenclatura de biomoléculas. Sociedad digital, comunicación y conocimiento: retos para la ciudadanía en un mundo global, 58, 791-809. Coords. Lorena R. Romero Domínguez y Nuria Sánchez Gey Valenzuela. Editorial Dykinson, S.L. ISBN: 978-84-1122-082-8.

[2] J.J. Centelles; E. Moreno; P.R. de Atauri (2022). Capítulo 38. Juegos de palabras basados en códigos para el autoaprendizaje de la nomenclatura de biomoléculas. Sociedad digital, comunicación y conocimiento: retos para la ciudadanía en un mundo global, 58, 769-790 (2022). Coords. Lorena R. Romero Domínguez y Nuria Sánchez Gey Valenzuela. Editorial Dykinson, S.L. ISBN: 978-84-1122-082-8.

- [3] S. Marin; P.R. de Atauri; E. Moreno; S. Pérez-Torras; J. Farràs; S. Imperial; M. Cascante; J.J. Centelles (2021). An Escape-room about Krebs cycle prepared for chemical students. *International Journal on Engineering, Science and Technology*, 3(2), 155-164. ISSN: 2642-4088
- [4] R. Bybee (2010). Advancing STEM Education: A 2020 vision. *Technology and Engineering Teacher*, 70 (1), pp. 30-35.
- [5] M. Sailer; J.U. Hensen; S. Mayr; H. Mandl (2017). How gamification motivates: An experimental study of the effects of specific game design elements on psychological need satisfaction. *Computers in Human Behavior*, 69, pp. 371-380. <http://doi.org/10.1016/j.chb.2016.12.033>
- [6] J. Lee; J. Hammer (2011). Gamifications in education: What, how, why bother? *Academic Exchange Quarterly*, 15, pp. 1-5. [https://www.researchgate.net/publication/258697764\\_Gamification\\_in\\_Education\\_What-How\\_Why\\_Bother](https://www.researchgate.net/publication/258697764_Gamification_in_Education_What-How_Why_Bother)
- [7] Centelles J.J., Imperial S., de Atauri P., Moreno E. (2021). Aprenentatge amb passatemps. Aplicació de l'aprenentatge amb passatemps a un curs de Bioquímica. *Revista del Congrés Internacional de Docència Universitària i Innovació (CIDUI)*, [en línia ISSN-e 2385-6203], Núm. 5, pp. 1-9. (2021). <https://raco.cat/index.php/RevistaCIDUI/article/view/387428>
- [8] Centelles J.J., Imperial S., de Atauri P., Moreno E. (2021). Gamificació en l'assignatura de Bioquímica del grau de Química utilitzant passatemps. 10es JEQC. *La Química davant els reptes actuals*. Col·legi de Químics de Catalunya. pp. 4-12. ISBN: 978-84-124850-3-5
- [9] Centelles J.J., Moreno E. (2022). Capítulo 16. Aplicación de los pasatiempos con palabras en la asignatura de Bioquímica. *Innovación docente y prácticas educativas para una educación de calidad, Conocimiento contemporáneo 47*, 315-337. Coord. Carmen Romero García. Editorial Dykinson, S.L. ISBN: 978-84-1377-920-1.
- [10] Moreno E.; Centelles J.J. (2022). Capítulo 17. Juegos sencillos destinados a aprender la nomenclatura de las biomoléculas. *Innovación docente y prácticas educativas para una educación de calidad, Conocimiento contemporáneo 47*, 338-364. Coord. Carmen Romero García. Editorial Dykinson, S.L. ISBN: 978-84-1377-920-1.
- [11] Centelles J.J., de Atauri P., Moreno E. (2022). A new way to study biochemistry words by using games. *Proceedings of International Conference on Humanities, Social and Education Sciences 1*, 61-71. Editors: Omid Noroozi and Ismail Sahin. ISBN: 978-1-952092-33-6.
- [12] Centelles J.J., Moreno E., de Atauri P. (2022). Capítulo 23. Pasatiempos para el autoaprendizaje en Bioquímica: Palabras carentes de una sílaba o de un grupo de letras. *Transformación digital docente. La gestión sostenible de las organizaciones educativas, Colección Conocimiento Contemporáneo 72*, 427-445. Coords. M<sup>a</sup> Dolores Díaz-Noguera, Carlos Hervás-Gómez, Pedro Román-Graván, María de los Ángeles Domínguez-González. Editorial Dykinson, S.L. ISBN: 978-84-1122-459-8.
- [13] Centelles J.J., Moreno E., de Atauri P. (2023). Refuerzo de conocimientos de Bioquímica aplicando juegos de letras o de palabras sencillos. (Reforç de coneixements de Bioquímica aplicant jocs de lletres o de paraules senzilles). *(Biochemistry's knowledge reinforcement by using simple letters' or words' games)*. *Revista d'Innovació Docent Universitària 15*, 28-41 (2023). RIDU. <http://revistes.ub.edu/index.php/RIDU>. e-ISSN: 2013-2298; ISSN: 2014-1319.

[14] Centelles J.J., Moreno E., de Aauri P. (2022). Capítulo 8. Juegos de palabras basados en anagramas y laberintos para el autoaprendizaje de la nomenclatura de biomoléculas. El uso de las tecnologías de la información y la comunicación en el aula universitaria como consecuencia del Coronavirus, Colección Conocimiento Contemporáneo 70, 158-175. Coords. Jonatán Cruz Ángeles. Editorial Dykinson, S.L. ISBN: 978-84-1122-462-8.

[15] Centelles J.J., Moreno E., de Aauri P. (2022). Aplicación de la gamificación en Bioquímica: Juegos de palabras encadenadas para aprender los nombres y estructuras de las biomoléculas. (Gamification Application in Biochemistry: Chained Words Games to Learn Biomolecule's Names and Structures). Revista de Aprendizaje 8 (2), 1-15. Publicado y Sostenido por Common Ground Research Networks. ISSN: 2575-5544 (versión impresa); ISSN: 2575-5560 (versión electrónica).

[16] Centelles J.J., Moreno E., de Aauri P. (2023). Capítulo 41. Aplicación de diversas cuadrículas en el juego de salto del caballo para encontrar palabras o frases en la asignatura de Bioquímica del grado de Química. Viaje didáctico por el cuerpo y la mente: experiencia desde la abstracción científico-matemática a la educación física, Colección Conocimiento Contemporáneo, 819-840. Coords. Bartolomé Pizà Mir, Francisco Tomás González Fernández, Arturo Quilez Maimón, María Ventura Montserrat Montserrat, Vanessa Cunil Monjo. Editorial Dykinson, S.L. ISBN: 978-84-1122-495-6.

[17] Gavin, B. (2019). The Beginner's Guide to Google Forms. <https://www.howtogeek.com/434570/the-beginners-guide-to-google-forms/>

[18] Structural Classification of Proteins (SCOP): <http://scop.berkeley.edu>