Revista Científica Sistemática
ISSN: 2675-521

BIOINFORMÁTICA, IMPLICACIONES Y OPORTUNIDADES PARA LA ENSEÑANZA DE LA BIOQUÍMICA

BIOINFORMATICS, IMPLICATIONS AND OPPORTUNITIES FOR TEACHING BIOCHEMISTRY

BIOINFORMÁTICA, IMPLICAÇÕES E OPORTUNIDADES PARA O ENSINO DE BIOQUÍMICA

https://doi.org/10.56238/rcsv15n6-002

Data de submissão: 25/05/2025 **Data de aprovação**: 25/06/2025

Rodrigo Rodríguez Cepeda
Químico Doctor en Educación
Universidad Pedagógica Nacional
E-mail: rrodriguez@pedagogica.edu.co
ORCID: 0000-0002-2331-0576

Wendy Duque Aranda
Licenciada en Química Magister.
Universidad Pedagógica Nacional
E-mail: wdduquea@upn.edu.co
ORCID: 0000-0003-2301-8417

RESUMEN
En lo corrido del presente siglo se ha evidenciado un amplio desarrollo en las investigaciones alrededor del genoma, y la gran cantidad de información generada ha permitido el desarrollo de la bioinformática, la cual se convirtió en una herramienta empleada para apoyar investigaciones enfocadas a resolver interrogantes frente a la transcripción y traducción del código genético, las propiedades funcionales de las proteínas y el desarrollo de nuevos medicamentos. Si bien, las aplicaciones anteriores han estado centradas en el conocimiento bioquímico de frontera, las herramientas bioinformáticas también emergen como posibles instrumentos para la enseñanza de conceptos bioquímicos considerados abstractos, difíciles de aprender y en los que, tradicionalmente el proceso de aprendizaje ha sido memorístico, con unos resultados académicos poco favorables para los estudiantes. Bajo este contexto, el presente artículo pretende hacer una reflexión sobre las oportunidades didácticas que tienen las herramientas bioinformáticas en la enseñanza de la bioquímica, además de motivar a los investigadores para que se propongan nuevas iniciativas de trabajo en este campo de acción. Para tal fin, se realizó una revisión bibliográfica de los últimos 10 años, como resultado, se encontraron pocas investigaciones publicadas, donde la bioinformática se utilice como una herramienta de enseñanza, por esta razón, aquí se plantea un análisis reflexivo sobre algunas oportunidades que la bioinformática, como una herramienta de las TICs, ofrece para que los investigadores en didáctica de las ciencias, las utilicen para innovar en el aula de clase.

Palabras clave: Enseñanza de la bioquímica. Herramientas bioinformáticas. Bioquímica. TICs. Educación en contexto.

ABSTRACT
Over the course of this century, there has been extensive development in genome-related research, and the vast amount of information generated has enabled the development of bioinformatics, which has become a tool used to support research focused on addressing questions regarding the transcription and translation of the genetic code, the functional properties of proteins, and the development of new

drugs. While previous applications have focused on cutting-edge biochemical knowledge, bioinformatics tools are also emerging as potential instruments for teaching biochemical concepts that are considered abstract, difficult to learn, and in which the learning process has traditionally been rote, with unfavorable academic outcomes for students. In this context, this article aims to reflect on the educational opportunities that bioinformatics tools offer in biochemistry teaching, as well as to motivate researchers to propose new work initiatives in this field. To this end, a bibliographic review of the last 10 years was conducted. As a result, few published studies were found in which bioinformatics is used as a teaching tool. Therefore, here, we propose a reflective analysis of some opportunities that bioinformatics, as an ICT tool, offers for science education researchers to use to innovate in the classroom.

Keywords: Biochemistry teaching. Bioinformatics tools. Biochemistry. ICTs. Education in context.

RESUMO

Ao longo deste século, houve um amplo desenvolvimento na pesquisa relacionada ao genoma, e a vasta quantidade de informações geradas permitiu o desenvolvimento da bioinformática, que se tornou uma ferramenta utilizada para apoiar pesquisas focadas em abordar questões relacionadas à transcrição e tradução do código genético, às propriedades funcionais de proteínas e ao desenvolvimento de novos fármacos. Embora aplicações anteriores tenham se concentrado em conhecimentos bioquímicos de ponta, ferramentas de bioinformática também estão emergindo como instrumentos potenciais para o ensino de conceitos bioquímicos considerados abstratos, difíceis de aprender e nos quais o processo de aprendizagem tem sido tradicionalmente mecânico, com resultados acadêmicos desfavoráveis para os alunos. Nesse contexto, este artigo tem como objetivo refletir sobre as oportunidades educacionais que as ferramentas de bioinformática oferecem no ensino de bioquímica, bem como motivar pesquisadores a propor novas iniciativas de trabalho nessa área. Para tanto, foi realizada uma revisão bibliográfica dos últimos 10 anos. Como resultado, foram encontrados poucos estudos publicados nos quais a bioinformática é utilizada como ferramenta de ensino. Portanto, aqui, propomos uma análise reflexiva de algumas oportunidades que a bioinformática, como ferramenta de TIC, oferece para pesquisadores em educação científica utilizarem para inovar em sala de aula.

Palavras-chave: Ensino de bioquímica. Ferramentas de bioinformática. Bioquímica. TICs. Educação em contexto.

Revista Científica Sistemática
ISSN: 2675-521

1 INTRODUCCIÓN

Los cambios sociales, culturales, económicos, comportamentales, comunicativos y hasta científicos, cada vez son más profundos y rápidos gracias a la gran cantidad de información inmediata y disponible en el mundo virtual, de este fenómeno no se escapan la bioquímica y la biología molecular, las cuales son dos campos de las ciencias que han cobrado una particular importancia en los últimos años, gracias a sus implicaciones en aspectos cotidianos de la población como la salud, agroindustria, biotecnología o en el desarrollo de la industria alimentaria, entre otros campos. No obstante, es claro que tanto la bioquímica como la biología molecular se apoyan en otras ciencias básicas como la química, la biología, la física y las matemáticas, lo cual las hace relativamente abstractas y complejas (Moreno, 2015; Garzón, y otros, 2017). Estas condiciones, han llevado a que los procesos de enseñanza y aprendizaje se centren tradicionalmente en un modelo memorístico, con las innegables consecuencias generadas en los alumnos como: desmotivación, bajo rendimiento, aprendizaje desarticulado, frustración, apatía o desinterés por el aprendizaje de los conceptos asociados a estos dos campos del conocimiento científico (Garzón , Rojas, Riesgo, del Pinzón, & Salamanca, 2010).

Bajo el panorama antes mencionado, es necesario que los procesos de enseñanza aprendizaje de la bioquímica y la biología molecular se transformen, y estén acordes a los avances en la investigación científica. Por lo que, los investigadores de la didáctica de las ciencias están llamados a estudiar, diseñar y proponer nuevas formas de enseñar, las cuales deben incluir herramientas didácticas e instrumentos de evaluación novedosos que mejoren el aprendizaje, a pesar del nivel de abstracción que tiene la bioquímica o la biología molecular (Pérez, 2019), pero sobre todo, estas propuestas deben marcar diferencia frente a los modelos memorísticos y conductistas, ampliamente cuestionados, pero aún muy utilizados en las aulas de clase.

En este mismo sentido, es claro que en muchas investigaciones se han explorado diferentes estrategias para hacer las conferencias magistrales y las actividades en el aula más interactivas e interesantes, enfocadas a incentivar la participación activa de los estudiantes, especialmente para evitar distracciones o desmotivación (Gonvindarajan, Rajaragupathy, Subramanian, & Kathikeyan, 2021; Fabro, Aró, Villafañe, & Degrave, 2020; Pérez Cardona, 2020; Carbajal, 2018), dentro de estas estrategias se pueden resaltar algunas como la co-enseñanza, la enseñanza paralela, alternativa, complementaria, enseñanza en equipo, aprendizaje por investigación o aprendizaje basado en problemas (Bacharach, Heck, & Dahlberg, 2007), las cuales han demostrado algunos resultados prometedores, pero que aún requieren mucho tiempo de investigación en diversos escenarios, con el fin de evaluar las diferentes dificultades y factores que afectan el buen desarrollo de las estrategias didácticas aplicadas; por ejemplo, la forma como aprenden los estudiantes, su contexto social, familiar o cultural, e incluir algunas variables propias del profesor que interactúa con el estudiante (Rodríguez,

2018), o los aspectos histórico epistemológicos y el contexto escolar, los cuales también tienen implicaciones en los procesos de aprendizaje.

Basados en los anteriores argumentos, en el presente documento se plasma un análisis reflexivo sobre las oportunidades didácticas que se han abierto en los últimos años, para la enseñanza de la bioquímica y la biología molecular, gracias al avance en el desarrollo de herramientas bioinformáticas en la era pos-genómica, las cuales podrían ser utilizadas en los procesos de enseñanza y aprendizaje de conceptos bioquímicos y de biología molecular, gracias a la afinidad entre el uso de las tecnologías de la información y comunicación (TICs) con los intereses de los estudiantes que hoy llegan a las aulas de clase, quienes prefieren aprender en contextos cercanos a su vida cotidiana (Miranda, y otros, 2025).

2 METODOLOGIA

Con el rápido desarrollo de las vacunas contra el Sars Cov2, quedó evidenciada la importancia que tiene el uso de herramientas bioinformáticas, las cuales, entre otros aspectos, permiten hacer modelación de estructuras químicas como las proteínas o los ácidos nucleicos, así como también, su versatilidad para realizar comparaciones genómicas o pronosticar las energías de atracción entre sustratos, inhibidores y enzimas. Estas ventajas han permitido acelerar los tiempos de investigación en el laboratorio, reducir costos, reducir el impacto en el uso de animales de laboratorio durante el desarrollo de nuevos medicamentos, ya que estas herramientas permiten realizar un tamizaje inicial de principios activos que podrían tener algún efecto médico y solamente someter a pruebas in-vitro e in-vivo aquellas moléculas altamente prometedoras que resultan de los ensayos in-sílico, como consecuencia, los resultados en el desarrollo de medicamentos son mucho más rápidos que sin la ayuda de las herramientas bioinformáticas (Gómez Daza, 2021).

Bajo este contexto, es imperativo que los profesores de bioquímica y biología molecular, empiecen a desarrollar modelos y actividades didácticas que involucren el uso de herramientas bioinformáticas en los procesos de enseñanza-aprendizaje (Hotaling, Slabach, & Weisrock, 2018), toda vez que dichas herramientas se configuran como parte esencial de la bioquímica del siglo XXI. De esta manera, el presente artículo presenta un análisis reflexivo, soportado en una investigación exploratoria, de carácter documental informativo-explicativo, cuyo objetivo es identificar y analizar las investigaciones realizadas alrededor de las herramientas bioinformáticas, su aplicación en la enseñanza de la bioquímica y la biología molecular, además de proponer posibles rutas de investigación en la didáctica de la bioquímica y la biología molecular, en contextos donde el uso de la bioinformática tiene un papel importante y protagónico en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Revista Científica Sistemática
ISSN: 2675-521

Como criterios de investigación se seleccionaron, interpretaron y analizaron documentos de fuentes primarias publicadas, preferiblemente en los últimos diez años, algunos de ellos se centraron en artículos de revistas indexadas, libros, tesis y trabajos de grado, con el fin de plantear un análisis propio, crítico, reflexivo y fundamentado, así como para intentar proponer algunos caminos de investigación, que abran nuevas oportunidades para que los profesores intenten aplicar las herramientas bioinformáticas en la enseñanza-aprendizaje de conceptos bioquímicos con sus estudiantes.

3 DESARROLLO

3.1 HERRAMIENTAS BIOINFORMÁTICAS Y ENSEÑANZA DE LAS PROTEÍNAS

En los últimos años, muchas investigaciones se han enfocado en identificar los conceptos fundamentales que se deberían enseñar en bioquímica y en biología molecular, es así como, los científicos reunidos en la American Society for Biochemistry and Molecular Biology (ASBMB), propusieron unos objetivos de aprendizaje basados en cinco conceptos fundamentales: evolución, transformación de la materia y energía, homeóstasis, flujo de información, estructura y función de las macromoléculas (Tansey, y otros, 2013; Martínez-Vaz, 2014; White, Benore, Sumter, Caldwell, & Bell, 2013).

De esta manera, algunos conceptos asociados a las proteínas como aminoácidos, enlace peptídico, estructuras, síntesis o funciones, así como temas relacionados con el código genético, por ejemplo: ácidos nucleicos, sus estructuras, transcripción y traducción de la información genética, entre otras, podrían ser considerados como ejes transversales en el abordaje de los fenómenos bioquímicos dentro del objetivo de aprendizaje: estructura y función de las moléculas (Peña-Castro, Gregorio-Ramirez, & Barrera-Figueroa, 2013), por lo que, su enseñanza-aprendizaje se convierte en un aspecto de gran relevancia, y deben ser asumidos como conceptos estructurantes de la bioquímica y de la biología molecular. Por lo tanto, es necesario que los profesores desarrollen diversas metodologías de enseñanza alegadas de los modelos memorísticos, tradicionalmente utilizados en el aula de clase, debido a que se han asumido, erróneamente, como temas con un alto nivel de complejidad y abstracción (Safadel & White, 2019; Rivera, y otros, 2019).

Es así como, algunos investigadores han propuesto trabajos en los cuales se incluyen herramientas bioinformáticas como el Protein Data Bank (https://www.rcsb.org/), PyMol (https://pymol.org) o Python Molecular Viewer (http://mgltools.scripps.edu/), las cuales permiten obtener estructuras de macromoléculas presentes en repositorios virtuales, o crear modelos moleculares en 3D, empleadas en el marco de modelos didácticos como las Cuestiones Socio-

científicas o la realidad aumentada. (Cortés & Rodríguez, 2021; Safadel & White, 2019; Brandt & Novak, 2020; Gava, y otros, 2018).

Otros estudios aseguran que el aprendizaje asistido por computador puede ser una estrategia efectiva para respaldar las clases clásicas de laboratorio, las cuales son costosas debido al alto consumo de materiales y reactivos, y al uso intensivo de equipos de laboratorio, sin contar con el impacto ambiental que se genera por los residuos (Alvarez, de Lima, Won-Held, & Carla , 2019) . Por otra parte, el uso de herramientas computacionales permite que los estudiantes asuman un papel activo frente a su proceso de aprendizaje, ya que el buen desarrollo de las actividades estructuradas con herramientas computacionales, dependen en gran medida de los estudiantes, por lo que, el uso de blogs, videos o simuladores, pueden generar un impacto positivo en el desempeño académico de los estudiantes (Ruiz-Macías & Duarte, 2018; Romero, Vidal , & Ramirez, 2019)

Las anteriores consideraciones abren la posibilidad para que los procesos de enseñanza de la bioquímica, y la biología molecular, se integren a los nuevos desarrollos de la ciencia y a los intereses de los estudiantes, teniendo en cuenta que los científicos han desarrollado estas herramientas bioinformáticas, con el fin de agilizar y facilitar los procesos de investigación de punta, ya que ellas permiten almacenar, gestionar y analizar una gran cantidad de información, aspecto que permite reducir los costos asociados a la investigación.

En tal sentido, es el momento para que los investigadores en didáctica de las ciencias desarrollen nuevas estrategias de enseñanza-aprendizaje, en las que se otorgue un papel importante al uso de las herramientas bioinformáticas como instrumentos de enseñanza en el aula, y se consoliden como parte integral de las actividades a desarrollar en los cursos de bioquímica y de biología molecular, enmarcadas en modelos como el aprendizaje por investigación, resolución de problemas (ABP), cuestiones sociocientíficas (CSC), o inclusive en procesos de desarrollo de habilidades discursivas, investigativas o enseñanza de la bioquímica en contexto (Araya-Pizarro & Espinoza, 2020; Cadavid & Tamayo, 2021; Varela de Moya, García , & Correa , 2021; Campos-Sánchez, y otros, 2021).

No obstante, a pesar de los beneficios que parecen demostrar los anteriores trabajos de investigación, es claro que, aspectos relacionados con el trabajo en el laboratorio son complicados de recrear en un ambiente de aprendizaje remoto o virtual. Sin embargo, existen herramientas asociadas a la bioinformática, sobre las cuales se pueden apoyar algunas actividades de preparación al trabajo en el laboratorio, en las cuales se podrían desarrollar habilidades procedimentales, o de pensamiento crítico (Paredes-Navia & Molina-Caballero, 2019), algunas de estas herramientas son Chimera, PyMol, Jmol o PyRx, con ellas es posible elaborar modelos de biomoléculas, de tal manera que se puede hacer representaciones de proteínas, o utilizar bases de datos virtuales como el PDB sobre las cuales es posible observar y diseñar actividades enfocadas al aprendizaje de las estructuras de las

Revista Científica Sistemática
ISSN: 2675-521

proteínas (Procko, y otros, 2020; Rodríguez & Cortés, 2021); Zamora, Sánchez, Hernández, Álvarez, & Díaz, 2018; Madrigal-Valverde, 2017).

Además de lo anterior, en internet se encuentran algunos programas gratuitos que permiten pronosticar la estructura secundaria de proteínas a partir de la secuencia de aminoácidos que conforman la estructura primaria y elaborar el gráfico de Ramachandrán (Mares-Sámano & Garduño-Juárez, 2018). Igualmente, existen simuladores de análisis de proteínas por electroforesis, bases de datos de espectroscopía de masas, espectrometría infrarroja, programas para realizar docking molecular o programas para cálculos de energía de enlace, con los cuales se pueden diseñar actividades en el aula para la enseñanza de conceptos bioquímicos como por ejemplo: estructuras proteicas, identificar su función, predecir acoplamientos moleculares o determinar energías mínimas de organización estructural. En la Tabla 1 se presentan algunas herramientas disponibles en internet potencialmente utilizables en enseñanza de la bioquímica y la biología molecular.

Tabla 1: Herramientas bioinformáticas para la enseñanza de las proteínas

Herramienta	Propósito	Posible uso didáctico	Dirección electrónica
RCSB PDB	Es una base de datos de la estructura tridimensional de proteínas y ácidos nucleicos	Enseñanza de estructuras de las proteínas	https://www.rcsb.org/
Chimera	Programa de visualización interactiva y el análisis de estructuras moleculares	Elaborar estructuras moleculares	https://www.cgl.ucsf.edu/chimera/
PyMol	Visor molecular para producir moléculas en 3D	Modelación de estructuras	https://pymol.org/2/
Psipred	Permite predecir las estructuras de las proteínas	Enseñanza de estructuras	http://bioinf.cs.ucl.ac.uk/psipred/
Ramachandrán Plot server	Elaborar gráficos de Ramachandrán	Aproximación a las estructuras de las proteínas	https://zlab.umassmed.edu/bu/rama/

Fuente: Propia

3.2 HERRAMIENTAS BIOINFORMÁTICAS Y ENSEÑANZA DE LAS ENZIMAS

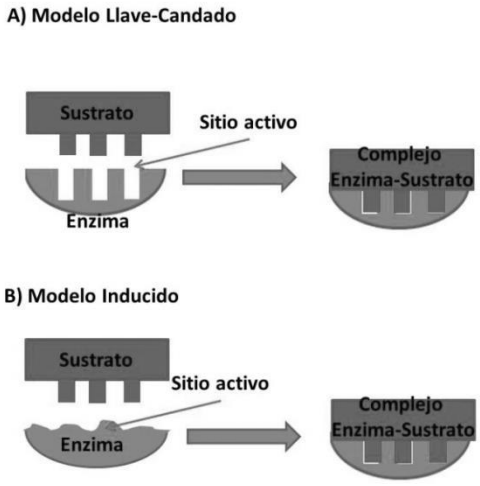
Otros temas que son de gran interés en la bioquímica se relacionan con la función biológica de las proteínas, debido a que muchas de ellas están involucradas en aspectos vitales tales como: la función contráctil involucrada en el movimiento de los músculos, gracias a la miosina y la actina; la función de transporte, en la que las proteínas transportan biomoléculas tanto al interior como al exterior de las células, como por ejemplo la hemoglobina y la mioglobina, reconocidas por su participación en el transporte y almacenamiento de oxígeno; la función de defensa, en la que las proteínas especializadas actúan como las inmunoglobulinas ante la presencia de células extrañas; o la función

Revista Científica Sistemática
ISSN: 2675-521

catalítica, donde las proteínas actúan facilitando prácticamente todas las reacciones bioquímicas conocidas, con un alto nivel de especificidad y altos rendimientos.

Debido a la complejidad bioquímica involucrada en cada una de las funciones antes mencionadas, y a su importancia en las funciones vitales, el proceso de enseñanza – aprendizaje requiere que los profesores diseñen actividades innovadoras, alejadas de las prácticas memorísticas, para que los estudiantes construyan y comprendan los conceptos relacionados con la bioquímica y la biología molecular, de tal forma que sean integrados a sus respectivas estructuras cognitivas. De esta manera, se espera que los estudiantes logren un aprendizaje significativo y aplicado en diversos contextos. Un ejemplo de ello es la función catalítica de las proteínas, muchas veces enseñada de forma memorística, descontextualizada y mediante el uso de modelos geométricos rígidos, para enseñar los mecanismos de acción enzimática, como sucede con el modelo llave-cerradura, en el que se asume una complementariedad geométrica entre el sustrato y el sitio activo de la enzima, modelo que ha permitido explicar la estereoespecificidad entre el sustrato y la enzima, o el modelo de Daniel Koshland quien propuso el ajuste inducido del sitio activo de la enzima a la forma del sustrato (Puerta , 2013). Tradicionalmente, en los libros de texto, los modelos se representan mediante figuras geométricas estándar y rígidas como se muestra en la Figura 1.

Figura 1: Modelos de mecanismos de actividad enzimática: A) Modelo llave-candado; B) Modelo inducido.



Fuente propia

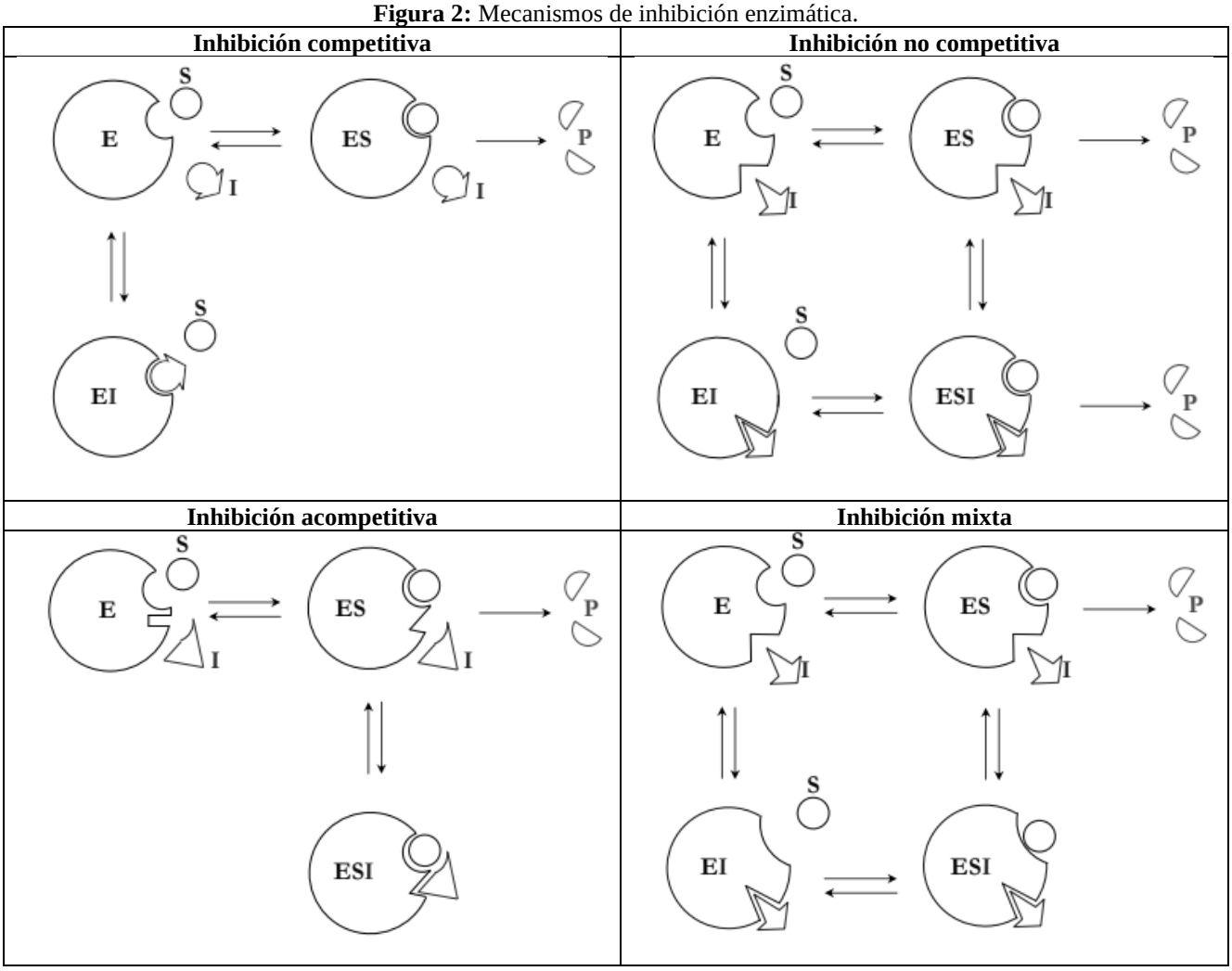
No obstante la reconocida utilidad de estos modelos para explicar los fenómenos enzimáticos, estas representaciones tienen algunas limitaciones que pueden inducir a errores conceptuales, por ejemplo, solamente se centran en una forma física rígida de la enzima y del sustrato, pero no involucran con claridad las fuerzas de atracción sustrato-enzima como los puentes de hidrógeno o las fuerzas de atracción electrostáticas, por lo que los estudiantes solamente asumen que la unión enzima sustrato solamente es posible por la forma geométrica complementaria entre ellos. Igualmente, y especialmente el modelo llave cerradura, poco tiene en cuenta la flexibilidad de los enlaces no peptídicos, presentes

Revista Científica Sistemática
ISSN: 2675-521

en las proteínas y por tanto, la representación del sitio activo de la enzima y del sustrato es altamente rígida.

En este mismo sentido, la representación de los mecanismos de acción enzimática, basados en los anteriores modelos también permean otros aspectos en la enseñanza-aprendizaje de conceptos asociados a enzimas, como por ejemplo los fenómenos de inhibición, en los cuales, las representaciones de las interacciones entre enzima-inhibidor y enzima-inhibidor-sustrato se muestran en modelos rígidos (Figura 2). Estas representaciones pueden generar interpretaciones erróneas frente al mecanismo involucrado y por lo tanto, derivar en errores conceptuales, y una baja comprensión del fenómeno bioquímico y su relación termodinámica (Heredia, 2019), aspectos que pueden generar desmotivación y desinterés por el aprendizaje de la bioquímica.

Figura 2: Mecanismos de inhibición enzimática.



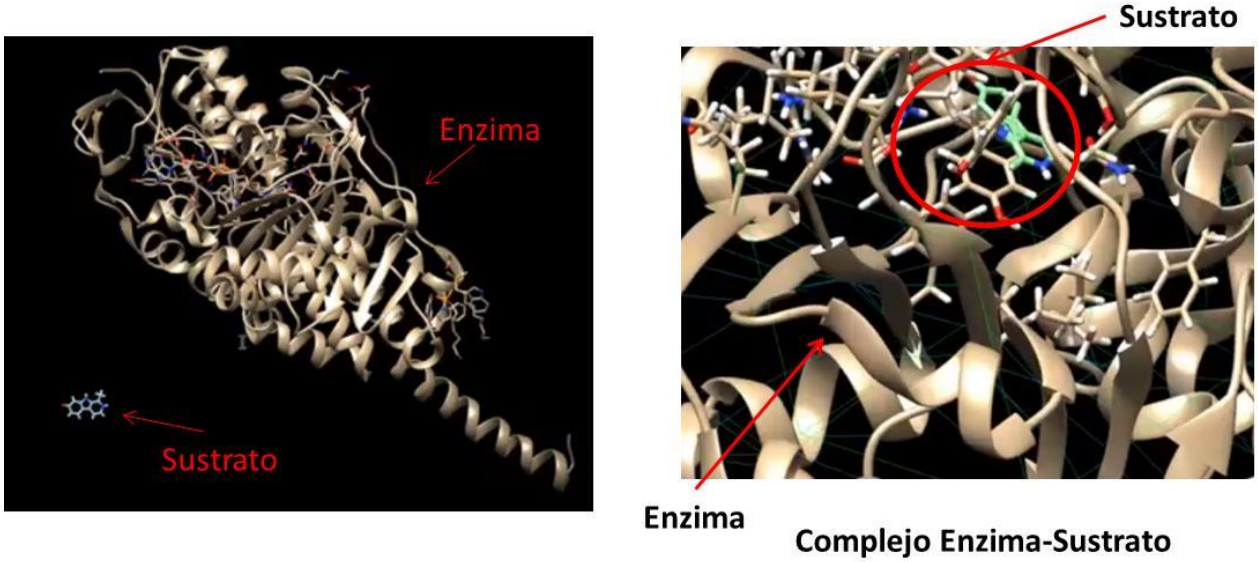
Fuente: Tomada y adaptada de Perta, 2013.

No obstante, la problemática anterior podría ser superada mediante el desarrollo de modelos innovativos de enseñanza – aprendizaje, que involucren las TIC´s, ya que ellas podrían acercar un poco más a los intereses de los estudiantes, pero sobre todo, se podría reducir los errores conceptuales que

Revista Científica Sistemática
ISSN: 2675-521

podrían generarse por los modelos rígidos de interacción enzíma-sustrato, y una posibilidad es involucrar el uso de las herramientas bioinformáticas que permiten complementar estos modelos cinético enzimáticos, y por tanto, se podrían utilizar como herramientas de enseñanza que reduzcan los problemas de aprendizaje ya mencionados. En la figura 3 se muestra un ejemplo donde se realiza un docking molecular entre una enzima y un sustrato.

Figura 3: Docking molecular entre sustrato y enzima, se identifican las fuerzas de atracción en el sitio activo.



Fuente: Propia

3.3 LA BIOINFORMÁTICA Y LA INHIBICIÓN ENZIMÁTICA

Teniendo en cuenta que la bioinformática es la disciplina que estudia el desarrollo de métodos computacionales y el uso de herramientas estadísticas para resolver problemas prácticos y teóricos derivados de la producción de información relacionada con datos de la biología molecular (principalmente de macromoléculas) (Franco, Cediel, & Payán, 2008; Pin-Pin, Hidalgo-Quijije, Holguín-Baque, & Villacreses-Ruíz, 2021), es posible suponer que, estas herramientas pueden ser utilizadas para la comprensión de los fenómenos cinético enzimáticos, de hecho, se encuentran algunos trabajos de investigación que han relacionado el potencial farmacológico de los inhibidores enzimáticos.

En este sentido, Herrera-Acevedo, Dos Santos Maia, Cavalcanti, Coy-Barrera, Scotti, & Scotti (2021) emplearon Docking molecular (acoplamiento molecular) para probar una serie de lactonas sesquiterpénicas como posibles moléculas antileshmaniales, registradas en la interfaz SistematX, probadas sobre tres proteínas diana para identificar la probabilidad de acción inhibitoria sobre las enzimas que actúan en el parásito *L.* donovani. Como puede evidenciarse, si bien este trabajo está enfocado netamente en aspectos bioquímicos, podría ser utilizado como una actividad en el aula de

Revista Científica Sistemática
ISSN: 2675-521

clase, para explicar el fenómeno de inhibición enzimática, en el cual se incluyen las fuerzas de atracción enzima- sustrato e inhibidor, gracias al Docking molecular.

Otro trabajo a resaltar y mucho más aplicado a la enseñanza de la bioquímica es el desarrollado por Heredia (2019), quien diseñó y aplicó un Programa Guía de Actividades (PGA) centrado en la enseñanza de conceptos asociados a la inhibición enzimática en un ambiente B-Learning mediado por herramientas bioinformáticas en el contexto de la enfermedad del Alzheimer. Entre las actividades planteadas se encuentra el uso del Docking molecular, con el cual explica la interacción ligando-proteína entre moléculas bioactivas presentes en las flores de plantas de la familia Amaryllidaceae y la enzima acetilcolinesterasa, involucrada en las enfermedades neurodegenerativas, para lo cual se utilizaron algunas herramientas bioinformáticas como Sistematx, que es una base de datos de estructuras químicas, PyRx, Molegro, que son herramientas para realizar docking molecular.

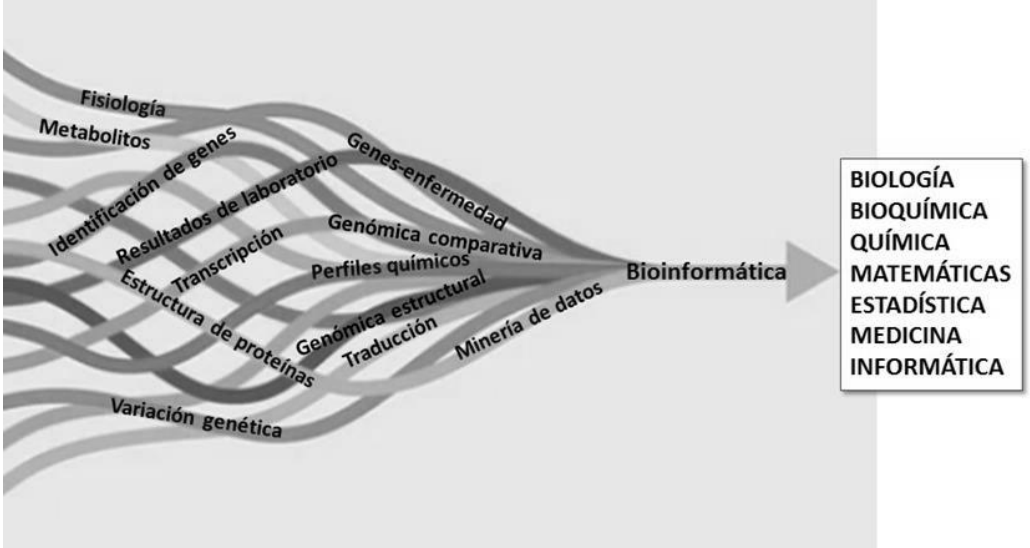
3.4 LA SICOLOGÍA COGNITIVA, ENSEÑANZA DE LA INHIBICIÓN ENZIMÁTICA Y LA BIOINFORMÁTICA

La riqueza de conceptos que se abordan en la bioquímica y en la biología molecular, es necesario que los profesores e investigadores de la didáctica hagan esfuerzos por innovar en los procesos de enseñanza-aprendizaje, especialmente porque en la actualidad, la información que se obtiene a partir de la investigación en las ciencias básicas crece rápidamente, influyendo en el desarrollo de métodos analíticos, pero especialmente en el desarrollo de grandes bases de datos de libre consulta que pueden ser utilizadas en el aula (Tabla 1) y donde convergen varias ciencias que alimentan la bioinformática (Figura 4).

En este contexto, emergen posibilidades de investigación en la didáctica de la bioquímica y la biología molecular, en las cuales se podrían hacer estudios de eficacia en el aprendizaje de conceptos bioquímicos en el marco de los diferentes modelos didácticos o desarrollar investigaciones cuyo resultado derive en proponer un nuevo paradigma didáctico en la enseñanza de la bioquímica y la biología molecular, en los cuales, el uso de las TIC´s y en especial las herramientas bioinformáticas tengan un papel tan importante como lo tienen actualmente en las investigaciones de frontera que siguen la bioquímica y la biología molecular .

Revista Científica Sistemática
ISSN: 2675-521

Figura 4: Ciencias y datos que convergen en la bioinformática.



Fuente: propia

Una ruta de investigación que podría ser planteada desde los diferentes enfoques de la sicología cognitiva, por ejemplo desde los modelos cognitivos de tercera generación, en el que el sistema cerebro-cuerpo-en el mundo, es la base y se caracteriza por asumir que la mente está anclada la cuerpo, por lo que las representaciones internas son estructuras organizadas desde la experiencia corporal y que la cognición depende de la conducta de un organismo con un entorno (Pérez-Parra & Restrepo de Mejía, 2022), sobre la cual se pueden desarrollar propuestas didácticas en las que la experiencia en un mundo real o cotidiano, permitan construir conceptos de la bioquímica o la biología molecular, sin olvidar los aspectos emocionales (Anzelín, Marín-Gutiérrez, & Chocontá, 2020) (Nunes, Clairvil, & Duarte-Silva, 2024).

Por otra parte, aun cuando existen algunos detractores, es posible hacer algunos estudios de la bioinformática y su relación con los estilos de aprendizaje relacionados con la enseñanza de los conceptos asociados a las proteínas, aprovechando el amplio desarrollo de herramientas de libre acceso utilizadas en investigaciones de frontera como en el desarrollo de medicamentos, algunos ejemplos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Conceptos asociados a las proteínas y herramientas bioinformáticas con posible uso didáctico.

Concepto principal	Concepto asociado	Herramienta bioinformática
Aminoácidos	Clasificación Distribución de carga	PDB Chimera
Péptidos y proteínas	Enlace peptídico Distribución de carga Estructuras Fuerzas de estabilización (Puentes de hidrógeno, Puentes disulfuro, atracción electrostática, etc.)	PDB Chimera Ramachandrán plot server Psipred
Enzimas	Actividad enzimática Sitio activo Modelo de Michaelis –Menden	Pymol DruLiTo PyRx

	Mecanismo llave-candado Mecanismo inducido Inhibición enzimática	Autodock Pose View
Código genético	Ácidos nucleicos Síntesis de proteínas	GenSacan (NCBI) ORF finder (NCBI)

Fuente: propia

Por otra parte, los estilos de aprendizaje es un concepto que proviene de la psicología, y se refieren al comportamiento afectivo, cognitivo y fisiológico característico de una persona, a cómo perciben, interaccionan y responden al entorno de aprendizaje y la solución de problemas (Cózar-Gutiérrez, De Moya-Martínez, Hernández-Bravo, & Hernández-Bravo, 2016; Zambrano, Arango, & Lezcano, 2018). En este sentido, los estilos de aprendizaje asumen que cada persona aprende en forma diferente, por lo que es una oportunidad para identificar la ruta de aprendizaje de cada persona (Humánez Yánez, Barón Pantoja, & Flórez Nisperuza, 2021). De esta manera, en dichas rutas de aprendizaje se esperaría que las herramientas bioinformáticas puedan ser incluidas como complemento en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los conceptos asociados a las proteínas, de tal forma que los profesores diseñen actividades pertinentes y contextualizadas que incluyan dichas herramientas.

No obstante lo planteado anteriormente, es necesario que los investigadores siempre definan un modelo de estilos de aprendizaje, propuestos por los diferentes investigadores que han trabajado en este campo, algunos de ellos se pueden observar en la Tabla 3.

Tabla 3: Clasificación de los estilos de aprendizaje

Autor	Estilo de aprendizaje
(Kolb, Rubin, & McIntyre, 1977)	Percepción de la información Procesamiento de la información
(Honey & Mumford, 1986)	Reflexivo Teórico Pragmático Activo
(Felder & Silverman, 1988)	Sensitivos Intuitivos Visuales Verbales Inductivos Deductivos Secuenciales Globales Activos reflexivos

Fuente: propia

La propuesta de estudiar las implicaciones de las herramientas bioinformáticas en el aprendizaje de conceptos asociados a las proteínas en el marco de los estilos de aprendizaje, se convierte en una oportunidad, teniendo en cuenta que, al realizar una revisión bibliográfica en un periodo de tiempo de 10 años (2014-2024), no se encontraron muchos trabajos de investigación donde

se relacionen los estilos de aprendizaje con la enseñanza de la bioquímica y el uso de las herramientas bioinformáticas, se encuentran algunos trabajos en los que se evalúa la eficiencia del sistema 4MAT de estilos de aprendizaje en la enseñanza de biomoléculas, en los cuales se ha concluido que este sistema es una buena opción para aplicarse a la enseñanza de las ciencias, ya que permite planear secuencias con actividades dirigidas a los estilos de aprendizaje (Parrales, Obaya, Morales, & Botello, 2017).

Mediante el desarrollo de investigaciones en campos similares a los propuestos anteriormente, se esperaría aportar en procesos de enseñanza-aprendizaje enfocados a mejorar el desempeño académico de los estudiantes, mediante actividades en el aula, contextualizadas y con el uso de herramientas bioinformáticas alejadas de los modelos memorísticos, ampliamente utilizados en la enseñanza de la bioquímica.

En esta propuesta se recomienda incluir las herramientas bioinformáticas, bajo el supuesto que pueden estar enmarcadas en contextos cercanos a los estudiantes, teniendo en cuenta que el internet y en general las TIC´s hacen parte de su cotidianidad (Tapprich, y otros, 2020; Vásquez- Alonso & Manassero-Mass, 2019; Schwartz-Bloom, Halpin, & Reiter, 2011). Por otra parte, se espera que al involucrar las nuevas herramientas en el marco de las TIC´s y actividades en el aula, especialmente la bioinformática, es necesario que el profesor, además de tener en cuenta las características individuales de la forma de aprender por parte de los estudiantes, ajuste su rol en el aula, debe asumir un papel de tutor capaz de integrar las individualidades de los estudiantes para conformar equipos de trabajo e innovar en las actividades a realizar. (Rodríguez, 2018).

4 CONCLUSIONES

El rápido crecimiento de la información científica producida en las investigaciones de frontera en bioquímica y biología molecular, ha generado el desarrollo de la bioinformática como una disciplina en la que convergen varias ciencias entre las que se resaltan: biología, bioquímica, química, matemáticas, estadística, medicina e informática, y cuyas herramientas son utilizadas por los investigadores para realizar simulaciones de eficiencia de moléculas candidatas a medicamentos, identificar la función de los genes en algunas especies incluyendo los humanos, simular efectos por mutaciones genéticas o pronosticar energías de acoplamiento entre sustratos y enzimas o inhibidores y enzimas. Esta realidad en las investigaciones en la disciplina, emerge como una oportunidad para desarrollar investigaciones en los problemas de la enseñanza-aprendizaje de la bioquímica, aprovechando las características multidisciplinares que la conforman y, donde las herramientas bioinformáticas desarrolladas pueden ser utilizadas en el marco de nuevos paradigmas de enseñanza.

En este contexto, algunas herramientas bioinformáticas, como por ejemplo, los bancos de datos de proteínas, los programas para realizar acoplamientos moleculares (Docking molecular), los simuladores de estructuras de las proteínas o las bases de datos de ácidos nucleicos (ADN y ARN), podrían ser consideradas como posibles herramientas didácticas de interés dentro de las TIC´s. Por lo tanto, podrían ser utilizadas en procesos de enseñanza-aprendizaje de conceptos bioquímicos, en un modelo contextualizado y alejado de los modelos memorísticos, ampliamente utilizados en el aula por parte de los profesores.

El diseño, desarrollo y uso de software especializado en bioquímica y biología molecular, que permiten realizar acoplamientos moleculares (Docking molecular), abren la posibilidad para que los profesores e investigadores de la didáctica diseñen nuevos caminos para la enseñanza de las interacciones proteína-ligando. Por lo tanto, dichos software, actualmente de uso libre, se convierten en una fuente de herramientas nuevas para la enseñanza de los fenómenos enzimáticos, tales como los conceptos de actividad enzimática o inhibición enzimática, aprovechando la calidad gráfica de las estructuras, que permiten identificar con mayor facilidad y poca abstracción, los puntos de unión del sitio activo con el sustrato o de la enzima con el inhibidor, además, los algoritmos matemáticos que complementan dichos software, permiten calcular energías de enlace o fuerzas de atracción enzima-sustrato, entre otras. Estas características podrían ser aprovechadas para facilitar la comprensión de los modelos cinético-enzimáticos, involucrando aspectos como la flexibilidad estructural de la enzima en los enlaces que conforman los aminoácidos presentes en el sitio activo, así como la visualización y el pronóstico energético de las fuerzas de atracción entre la enzima y el sustrato o con un inhibidor, que permiten los respectivos acoplamientos.

Los aspectos antes mencionados, permitirán que los profesores empleen modelos gráficos más dinámicos, alegados de los viejos modelos gráficos-geométricos rígidos utilizados para explicar los modelos cinético-enzimáticos, modelos que pueden generar errores conceptuales, frustración, rendimientos académicos bajos u otras actitudes negativas por parte de los estudiantes.

Una posibilidad de investigación, en la que se incluyan las herramientas bioinformáticas, es identificar el nivel de desempeño académico al emplear las herramientas bioinformáticas, cuando se diseñan actividades didácticas en el contexto de los estilos de aprendizaje, toda vez que se podrían identificar variables individuales que determinarían la pertinencia del uso de las herramientas bioinformáticas dentro de un modelo de enseñanza mediado por TICs, además de proyectar soluciones didácticas a las dificultades de aprendizaje de conceptos bioquímicos en el presente siglo.

Se espera que la implementación de secuencias y actividades pensadas desde diferentes modelos didácticos, en los que se incluyan las herramientas bioinformáticas, puedan contribuir a mejorar el rendimiento académico, la motivación y el aprendizaje de los estudiantes, ya que se podrían

Revista Científica Sistemática
ISSN: 2675-521

diseñar ambientes contextualizados más cercanos a la cotidianidad. Por ejemplo en contextos de desarrollos de vacunas, medicamentos que controlen los síntomas de las enfermedades neurodegenerativas, funcionalidad bioquímica de parásitos, o en la elaboración de alimentos bioactivos, entre otros ejemplos de ambientes contextualizados.

AGRADECIMIENTOS

El presente artículo hace parte del proyecto de investigación DQU-059-S-24, por lo que, los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Pedagógica Nacional y especialmente a la subdirección de proyectos y al CIUP por la financiación del proyecto, igualmente, se extienden los agradecimientos al semillero de investigación Chimeía que hace parte de la línea de investigación Alimentómica y enseñanza de las ciencias.

REFERENCIAS

Alvarez, P., de Lima, K., Won-Held, V., & Carla , H. (2019). Computational strategy for visualizing structures and teaching biochemistry. *Biochemistry and Molecular Biology Education, 47*(1), 76-84.

Anzelín, I., Marín-Gutiérrez, A., & Chocontá, J. (2020). Relación entre la emosión y los procesos de enseñanza aprendizaje. *Sophia, 16*(1), 48-64.

Araya-Pizarro, S., & Espinoza, L. (2020). Aportes desde las neurociencias para la comprension de los procesos de aprenizaje en los contextos educativos. *Propósitos y Representaciones, 8*(1), e312.

Bacharach, N., Heck, T., & Dahlberg, K. (2007). Co-teaching in higher education. *Journal of College Teaching & Learning, 5*(3), 9-16.

Brandt, G., & Novak, W. (2020). Sars-Cov-2 virtual biochemistry labs on bioinformatics and drug design. *Biochemistry and Molecular Biology Education*(49), 26-28.

Cadavid, V., & Tamayo, O. (2021). Interacción multimodalidad y evolución conceptual en el aula de bioquímica. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*(Extraordinario), 2903-2911.

Campbell, M., & Farrell, S. (2016). *Bioquímica* (Octava ed.). Mexico D.F.: Cengage Learning.

Campos-Sánchez, R., Florez-Cruz, A., Molina-Mora, J., Mora, R., Rodríguez, C., Gatica-Arias, A., y otros. (2021). Avances de la Informática en Costa Rica:vista retrospectiva y perspectivas. *Revista de Biología Tropical, 69*(4), 1204-1223.

Carbajal, C. (2018). Una nueva forma de aprender bioquímica: metodología del caso. *Educación Médica, 21*(1), 40-44.

Cortés, M., & Rodríguez, R. (2021). Alimentación y enfermedades neurodegenerativas, una cuestión sociocientífica para desarrollar la habilidad argumentativa. *Praxis & Saber, 12*(31), 1-20.

Cózar- Gutiérrez, R., De Moya-Martínez, M., Hernández-Bravo, J., & Hernández-Bravo, J. (2016). Conocimiento y uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs) según el estilo de aprendizaje de los futuros maestros. *Formación Universitaria, 9*(6), 105-118.

Fabro, A., Aró, C., Villafañe, N., & Degrave, V. (2020). Integración de las TIC para la enseñanza de las ciencias morfológicas en el nivel universitario. *Uni-Pluriversidad, 20*(1), 61-79.

Felder, R., & Silverman, L. (1988). Learning and teaching style in engineering education. *Engineering Education, 78*(7), 674-681.

Franco, M., Cediel, J., & Payán, C. (2008). Breve historia de la bioinformática. *Colombia Médica, 39*(1), 117-120.

Garzón , R., Rojas, M., Riesgo, L., del Pinzón, M., & Salamanca, A. (2010). Factores que pueden influir en el rendimiento académico de estudiantes de bioquímica que ingresan en el programa de medicina de la Universidad del Rosario-Colombia. *Educación Médica, 13*(2), 85-96.

Garzón, R., Ortega, O., Ondo, A., del Riesgo Prendes, L., Castillo, F., Pinzón-Daza, M., y otros. (2017). Recursos para la enseñanza-aprendizaje de temas complejos de bioquímica en la educación médica. *Educación Médica Superior, 31*(3), 31-44.

Gava, D., Balasco, V., Teixeira, L., Egído, M., Ciacci-Zanella, J., Morés, N., y otros. (2018). Strcture analysis of capsid protein of porcine circovirus type 2 from pigs with systemic disease. *Brazilian Journal of Microbiology*(49), 351-357.

Gómez Daza, S. (2021). Bioinformática como recurso educativo para enseñar variabilidad genética mediante la comparación de mapas de restricción. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas, 1*(33), 36-45.

Gonvindarajan, S., Rajaragupathy, S., Subramanian, K., & Kathikeyan, J. (2021). Effectiveness of team teaching i biochemistry lectures for undergraduate students. *Biochemistry and Molecular Biology Education, 49*(4), 583-587.

Heredia, L. (2019). *Programa guia de actividades para la enseñanza de conceptos asociados a inhibición enzimática a través del docking molecular en ambientes de aprendizaje blended learning.* Universidad Pedagógica Nacional, Departamento de química. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Herrera-Acevedo, C., Dos Santos Maia, M., Cavalcanti, É., Coy-Barrera, E., Scotti, L., & Scotti, M. (2021). Selection of antileshmanial sesquiterpene lactones fron sistematX database using a combined lignad - / structure - based virtual screening approach. *Molecular Diversity, 25*, 2411 - 24427.

Honey, P., & Mumford, A. (1986). *The maual of learning styles.* Maindehead.

Hotaling, S., Slabach, B., & Weisrock, D. (2018). Next-generation teaching: a template for bringing genomic and bioinformatic tools into the classroom. *Journal of Biological Education, 52*(3), 301-313.

Humánez Yánez, B., Barón Pantoja, V., & Flórez Nisperuza, E. (2021). Estilos de aprendizaje y métodos de enseñanza . Incidencia formativa del nuevo profesor de ciencias . *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*(Número extraordinario), 2100-2106.

Kolb, D., Rubin, I., & McIntyre, J. (1977). *Psicología de las organizaciones: Problemas contemporáneos* . Mexico: Prentice-Hall Hispanoamericana.

Madrigal-Valverde, K. (2017). Uso de herramientas para alineación de secuencias y creación de árboles filogenéticos para la determinación de especies. *Revista Tecnológica en Marcha, 30*(1), 30-34.

Mares-Sámano, S., & Garduño-Juárez, R. (2018). Computational modeling of the interactions of drugs with human serum albumin (HSA). *Computación y Sistemas , 22*(4), 1123-1135.

Martínez-Vaz, B. (2014). Conceptos claves, laboratorios de investigación y bases de datos: estrategias para la enseñanza de bioquímica en siglo XXI. *Química Viva, 13*(1), 5-17.

Miranda, J., Coelho, L., dos Santos, D., Costa, F., Gomes, H., Lucas, T., . . . Amaral, J. (2025). O uso das tecnologias digitais na tutoria EAD: Desafiose possibilidades na Universidade Aberta do Brasil (UAB) . Revista Científica Sistemática, 15(3), 210-224. doi: https://doi.org/10.56238/rcsv15n3-006

Moreno, A. (2015). Retos en la enseñanza de la biología molecular y la bioquímica en las carreras del área de la salud. *Boletín REDIPE, 4*(9), 26-39.

Nunes, D., Clairvil, E., & Duarte-Silva, E. (2024). Instrumentação para o ensino contextualizado de botânica em escolas da América Latina e Caribe. Revista Científica Sistemática, 14(3), 420-436. doi:https://doi.org/10.56238/rcsv14n3-001

Paredes-Navia, J., & Molina-Caballero, M. (2019). Enseñanza de la ciencia química por medio de simuladores y aprendizaje activo. *revista Tecné, Episteme y Didáxis: TED*(45), 71-88.

Parrales, D., Obaya, A., Morales, M., & Botello, J. (2017). Estudio exploratorio sobre la aplicación del sistema 4mat de estilos de aprendizaje, en la enseñanza de biomoléculas. *Enseñanza de las Ciencias*(Extra), 1883-1890.

Peña-Castro, J., Gregorio-Ramirez, O., & Barrera-Figueroa, B. (2013). Los métodos experimentales que permiten el estudio de las macromoléculas de la vida: historia, fundamentos y perspectivas. *Educación Química, 24*(2), 237-246.

Pérez Cardona, L. (2020). La cocina como estrategia para mejorar la enseñanza aprendizaje de los conceptos de bioquímica. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*(47), 127-142.

Pérez, F. (2019). Obstáculos del aprendizaje basado en problemas. Una experiencia pedagógica en el área de bioquímica. *Voces y Silencios. Revista Latinoamericana de Educación, 10*(2), 80-97.

Pérez-Parra, J., & Restrepo de Mejía, F. (2022). Teorías cognitivas dinámicas o de tercera generación: análisis documental de artículos originales de investigación cualitativa. *Diversitas: Perspectivas en Psicología, 18*(1), 1-13.

Pin-Pin, A., Hidalgo-Quijije, Y., Holguín-Baque, M., & Villacreses-Ruíz, V. (2021). Uso de aplicaciones bioinformáticas en el área de salud pública en Ecuador y Latinoamérica. *Polo del Conocimiento, 6*(3), 1934-1944.

Procko, K., Bell, J., Benore, M., Booth, R., Del Gazio, V., Dries, D., y otros. (2020). Moving biochemistri and molecular biology courses online in times of disruption. Recommended practices and resources- a collaboration with the faculty community and ASBMB . *Biochemistry and Molecular Biology Education , 48*(5), 421-427.

Puerta , A. (2013). *Unidad didáctica para la enseñanza de las enzimas apoyada en TIC bajo el modelo enseñanza para la comprensión.* Universidad Nacional de Colombia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Rivera, C., Yáñez, L., Herrera, C., Arias, J., Niño, J., Rodríguez, P., y otros. (2019). Integración de herramientas bioiinformáticas y métodos en biología molecular para el diseño de un kit diagnóstico de COVID-19: un ejemplo de aprendizaje significativo. *Revista Mutis, 9*(2), 62-80.

Rodríguez, R. (2018). Los modelos de aprendizaje de Kolb, Honey y Mumford: Implicaciones para la educación en ciencias. *Sophia, 14*(1), 51-64.

Rodríguez, R., & Cortés, M. (2021). Sars Cov2, una experiencia de la bioquímica en contexto para la enseñanza de conceptos asociados a las proteínas. *Revista de Educación a Distancia, 21*(67), 1-20.

Romero, R., Vidal , L., & Ramirez, D. (2019). Organic chemistry basic concepts teaching in students of large groups at higer education and web 2.0 tools. *Revista Actualidades Investigativas en Educación, 19*(1), 1-31.

Ruiz-Macías, E., & Duarte, J. (2018). Diseño de un material didáctico computarizado para la enseñanza de oscilaciones y ondas, a partir del estilo de aprendizaje de los estudiantes. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación, 8*(2), 295-309.

Safadel, P., & White, D. (2019). Facilitating molecular bioology teaching by using augmented reality (AR) and protein data bank (PDB). *Tech Trends, 63*, 188-193.

Schwartz-Bloom, R., Halpin, M., & Reiter, J. (2011). Teaching high scool chemistryin the context of pharmacology helps both teachers and students learn. *Journal of Chemical Education, 88*(6), 744-750.

Tansey, J., Baird, T., Cox, M., Fox, K., Knight, J., Sears, D., y otros. (2013). Foundational concepts and underlying theories for majors in "Biochemistry and Molecular Biology". *Biochemistry and Molecular Biology Education, 41*(5), 289-296.

Tapprich, W., Reichart, L., Simon, D., Duncan, G., McClung, W., Grandgenett, N., y otros. (2020). An instructional definition and assessment rubric for bioinformatics instruction . *Biochemistry and Molecular Biology Education, 49*, 38-45.

Varela de Moya, H., García , M., & Correa , Y. (2021). Aprendizaje basado en problemas para la enseñanza de las ciencias naturales. *Humanidades Médicas, 21*(2), 573-596.

Vásquez- Alonso , A., & Manassero-Mass, M. (2019). La educación de ciencias en contexto: Aportaciones a la formación del profesorado. *Revista Tecné , Episteme y Didaxis: TED*(46), 15-37.

White, H., Benore, M., Sumter, T., Caldwell, B., & Bell, E. (2013). What skills should students of undergraduate biochemistry and molecular biology programs have upon graduation? *Biochemistry and Molecular Biology Education, 41*(5), 297-301.

Zambrano, J., Arango, L., & Lezcano, M. (2018). Estilos de aprendizaje, estrategias de aprendizaje y su relación con el uso de las TIC en estudiantes de educacion secundaria. *Journal of Learning Styles, 11*(21).

Zamora, J., Sánchez, C., Hernández, E., Álvarez, J., & Díaz, R. (2018). Herramientas bioinformáticas usadas en el estudio de enzimas fenoloxidasas del género Pleurotus. *Mexican Journal of Biochemistry, 3*(1), 95-118.