



Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Tucumán

Escuela de Posgrado

Especialización en Docencia Universitaria

**INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL SOBRE LA
ARTICULACIÓN EN LA ENSEÑANZA ENTRE
MATEMÁTICA Y CIENCIAS BIOLÓGICAS**

Lic. Adriana Batalla

Trabajo Final Integrador para optar al grado Académico Superior de
Especialista en Docencia Universitaria

Modalidad: Análisis documental

Director: Dra. Roxana Enrico

Co-Director: Mg. María Luisa Bossolasco

San Miguel de Tucumán

2022

Tabla de contenido

Agradecimientos	2
Resumen	3
Introducción y Antecedentes	5
Marco Teórico	9
Y.... ¿por qué matemática.... y biología?	25
Metodología	32
Análisis de Resultados	33
Fase Preparatoria	33
Fase Descriptiva	35
Fase Interpretativa	43
Análisis del perfil del egresado	45
Análisis de currículo	46
Conclusiones	51
Bibliografía	55

Agradecimientos

La elaboración de un trabajo de tesis de estas características podría pensarse como una tarea muy solitaria. Pero luego de haber atravesado todo este trayecto constaté que este camino es imposible de transitar en soledad, por lo que me interesa mucho agradecer a todas esas personas que de una u otra forma me ayudaron y acompañaron en esta etapa.

Principalmente deseo dedicar este trabajo de tesis a mis PADRES, que ya no están, pero, siguen siendo el motor que impulsan mis sueños.

En primer lugar, quiero agradecer a mi directora de tesis Dra. Roxana Enrico, estoy convencida que este trabajo no hubiese llegado a ser lo que es, sin su guía brillante. Por su calidad humana y profesional de la que seguiré aprendiendo.

A mi codirectora Mg. María Luisa Bossolasco, por su inspiradora presencia y su dedicación.

A la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán, que me brindó la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado.

A todos los docentes, que, con generosidad, paciencia, entrega y consejos, brindaron todo su saber que me permitieron alcanzar los objetivos deseados.

A mis queridos compañeros: Diego, Iris, María, Ale, Silvi, Fer, Romi, Benja, porque sin el equipo que formamos, no hubiera podido alcanzar la meta.

A mis compañeros de cátedra de la Facultad de Ciencias Naturales e IML de la UNT: Lidia, Sonia, Lila, Graciela, y Fernando. Gracias por su apoyo y confianza en mí.

A mis sobrinos, Agus, Any, Josefina, Emy, Joaquín y Guady, que los amo con el alma.

Especialmente agradezco a mis hermanos Ariel y Rafael, por creer en mí y acompañarme a pesar de todo.

Y a mi compañero de ruta, Marcelo, por su apoyo y amor incondicional.

Resumen

La falta de articulación interdisciplinar en las carreras de ciencias biológicas entre las disciplinas de la formación básica y las propias del campo disciplinar, genera una disociación en las percepciones de los estudiantes respecto a la matemática en contexto de las ciencias. Lo cual impacta en el rendimiento académico de los estudiantes, pero más aún en la dificultad de la adquisición de herramientas para el abordaje de cualquier problemática desde la “complejidad” que responde al paradigma actual de la humanidad y a su acción laboral futura.

En este escenario, surge la necesidad de esta propuesta de investigación bibliográfica para establecer un marco de referencia del estado de situación en la enseñanza de estas ciencias en forma articulada y poder plantear modificaciones de las prácticas educativas actuales.

Para realizar la revisión bibliográfica se comenzó con la búsqueda empleando palabras claves que identifican las unidades del conocimiento sobre la temática planteada. Dicha información se clasificó y organizó siguiendo las fases preparatoria, descriptiva e interpretativa. De las conclusiones de experiencias de articulación en diferentes universidades se realizó un análisis lexicométrico de textos con el programa IRaMuTeQ (Interfaz de R para el Análisis Multidimensional de los Textos y Cuestionarios) que permitió el análisis y tratamiento de esos contenidos en la base a la cual se han emitido las conclusiones.

Se pueden observar tres grandes nodos de asociación lexicométrica que corresponden a: el plan de estudio integrado, las ciencias matemáticas y biología, y el tercero referido a los estudiantes. En función a estos nodos, se analiza, fundamenta y proponen posibles acciones para trabajar en un plan de estudio con integración,

incluyendo estrategias de enseñanza – aprendizaje centradas en el estudiante para fomentar el desarrollo de un conjunto de habilidades que los capacite para abordar los fenómenos biológicos de forma cuantitativa y compleja.

Palabras claves: Articulación, interdisciplinariedad, Matemática, Ciencias Biológicas, trabajo colaborativo, ABP.

Nunca pude, a lo largo de toda mi vida, resignarme al saber parcelado, nunca pude aislar a un objeto de estudio de su contexto, de sus antecedentes, de su devenir. He aspirado siempre a un pensamiento multidimensional. Nunca he podido eliminar la contradicción anterior. Siempre he sentido que las verdades profundas, antagonistas las unas de las otras, eran para mí complementarias, sin dejar de ser antagonistas. Nunca he querido reducir a la fuerza la incertidumbre y la ambigüedad.

(Edgard Morín)

Introducción y Antecedentes

Entendiendo una revisión documental como una investigación cualitativa que implica el estado del conocimiento sobre un tema planteado, nos enfocamos en la búsqueda de antecedentes significativos referidos a la articulación pedagógica de la matemática y las ciencias biológicas, que habiliten la posibilidad de generar diferentes estrategias de interacción en el aula para la mejora en el logro de aprendizajes significativos por los alumnos.

La revisión de antecedentes es el conjunto de acciones de exploración, de extracción de información y de ordenamiento del material científico recopilado. Permite al investigador conocer con cierta profundidad las investigaciones realizadas, los modelos teóricos utilizados, el tipo de variables o campos temáticos involucrados, las técnicas e instrumentos de recolección de datos utilizados y los hallazgos de información realizados. (Yuni Urbano, 2006).

Siguiendo a Yuni Urbano (2006), la revisión de antecedentes es una tarea que implica un trabajo sistemático, riguroso, disciplinado y secuencial de recolección, selección, clasificación, evaluación y análisis de contenido del material impreso y gráfico,

físico y/o virtual, que servirá de fuente teórica, conceptual y/o metodológica para una investigación científica determinada y cuya finalidad es la de obtener resultados que pudiesen ser base para el desarrollo de una nueva investigación científica.

Por lo tanto, enfocamos este trabajo como una investigación que implique el punto de partida o reconocimiento de antecedentes de una problemática detectada, el estado de situación que se presenta y, a partir de ello, diseñar abordajes de la misma.

Mundialmente es conocida la problemática que enfrentan los estudiantes, de todos los niveles educativos, con el aprendizaje de la matemática. En el origen de esta problemática se han reportado diversos factores de tipo social, económico, de orden curricular, asociados a la didáctica —que influyen en el aprendizaje y en la enseñanza de esta materia— inherentes a la formación de los docentes, inferidos al propio tema de estudio, por causas de la infraestructura cognoscitiva de los alumnos, entre otros (Camarena, 1984).

Los cursos de matemática generalmente se construyen sobre la estructura axiomatizada de las teorías matemáticas en cuestión, donde se acostumbra a presentar una porción particular de ellas, partiendo de ciertos supuestos básicos para llegar a más y más verdades por medio de demostraciones. Esta forma de presentaciones magistrales es el modelo privilegiado para la enseñanza de esta ciencia.

Este enfoque presenta diversos problemas que son parte de las preocupaciones de la investigación en educación matemática a nivel universitario. En una primera aproximación a la literatura sobre el tema, Abdulwahed, Jaworski y Crawford (2012) proponen no sólo innovaciones pedagógicas en contexto de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (CTIM, o STEM, en inglés), sino también la contextualización de los aprendizajes:

- Cambios hacia enfoques de aprendizajes más centrados en el estudiante;
- Los problemas de la contextualización y del uso de situaciones reales como estrategia para facilitar las aplicaciones de las matemáticas.
- La necesidad de llenar vacíos en el aprendizaje previo de los estudiantes.
- La promoción del diálogo e intercambio entre estudiantes para la formación del discurso matemático
- El mejoramiento de la motivación, interés y autoeficacia de los estudiantes en el aprendizaje de las matemáticas.

Asistiendo a un cambio de paradigma en la humanidad, atendiendo a la “complejidad”, la particularización descontextualizada de una realidad y/o situación vivencial en la enseñanza de la matemática carece de sentido y se hace evidente su abordaje desde una integración en el currículo con una mirada interdisciplinar integral.

La interdisciplinariedad, al mismo tiempo, implica poner en práctica procesos de aprendizaje colaborativo, lo que permite mejorar diversos aspectos educativos ligados a competencias educativas: superar tendencias individualistas y competitivas (Bain, 2006), mejorar la motivación, autonomía y responsabilidad (Fraile, 2008) y optimizar los aspectos relacionales, las competencias comunicativas, y el desarrollo de destrezas grupales (De la Rosa et al, 2002). A la vez, favorece el rendimiento académico mediante la obtención de resultados cognitivos más altos frente a los modelos de aprendizaje tradicionales (Johnson et al., 2000). Por lo tanto, responde a la consecución de nuestros objetivos.

Las técnicas de aprendizaje colaborativo presentan grandes diferencias con el aprendizaje tradicional, entre las que se destacan: en el aprendizaje tradicional se enseñan contenidos, el centro del proceso es el docente y el alumno adquiere una formación

técnica, mientras que con las técnicas del aprendizaje colaborativo se enseña a aprender, el centro del proceso es el alumno, y este adquiere un aprendizaje integral.

Articular en el sistema educativo implica concebir dispositivos mediadores entre componentes considerados como entidades diferentes, estableciendo vínculos entre disciplinas, donde los criterios de organización de los contenidos no estén centrados sólo en los enfoques epistemológicos, sino también en las características de los sujetos que aprenden, en el contexto institucional y en la realidad social. Hace 500 años aproximadamente, Galileo nos mostraba un enfoque cuantitativo para comprender el mundo natural, marcando el comienzo de la ciencia moderna, citándolo "*el libro de la naturaleza está escrito en el lenguaje de las matemáticas*"; podemos interpretar cuánto de ese lenguaje no ha sido “escuchado” al enseñar ciencias naturales en forma fragmentada en nuestras universidades. Así como se marca la urgencia y oportunidad, para revisar planes de estudio y prácticas áulicas posibles en búsqueda de incorporar el razonamiento lógico matemático como “lenguaje” para interpretar e interactuar con el entorno.

En consonancia con esta idea, hemos recopilado diferentes experiencias en diferentes universidades del mundo, que abordan articulación entre estas áreas, como Universidad de Princeton (Bialek and Botstein, 2004), Educación pre universitaria en Universidad de Maryland – College Park y Davidson College (Feser *et al*, 2013), Universidad de Arizona (Hester *et al*, 2014) y Universidad Tecnológica de Luisiana (White and Carpenter, 2008); como también analizamos el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) como estrategia interdisciplinar integral que podría contribuir a lograr aprendizajes significativos en el aula (Alzate Rodríguez *et al.*, 2013, Rodríguez Tortosa, 2018)

Marco Teórico

La educación consiste en preparación y formación para inquirir y buscar con sabiduría e inteligencia, aumentar el saber, dar sagacidad al pensamiento, aprender de la experiencia y aprender de otros. Esta es una tarea compleja de la que se han ocupado por generaciones, no se la puede soslayar, y es necesario preocuparse y ocuparse de ella siempre.

Por esto, discutir sobre educación y sobre el proceso educativo es una tarea necesaria para todo educador, sobre todo si asumimos que educar es transformar y transformarse. El educador entonces contribuye mediante su acción y la reflexión, con el objetivo fundamental de comprender el entorno para interactuar de forma responsable. En ese sentido, la tarea educativa es inacabada e inacabable.

Hoy en día, las formas de educar, enseñar y aprender preponderantes en nuestras aulas parecen estar aún guiadas por una práctica basada en la transformación monológica y unidireccional del conocimiento que los alumnos tienden a copiar y repetir de forma relativamente ciega, con lo que están cada vez más lejos de la forma en que esos mismos alumnos, como futuros profesionales, deberán usar el conocimiento cuando, por fin, salgan de las aulas. (Pozo y Monereo, 2009)

Si bien la propuesta educativa que subyace al nuevo modelo de educación superior, como el resto de los aspectos de ese modelo, es polémica y discutible, creemos que, al menos en este caso, se trata de una propuesta congruente con lo que hoy sabemos sobre el aprendizaje y la enseñanza (Bransford, et al, 2000; Donovan y Bransford, 2005; Pozo, 2008), al defender un modelo educativo centrado en el aprendizaje y en definitiva en la actividad cognitiva de los alumnos con el fin de construir el conocimiento en vez de meramente recibirlo ya empaquetado y cerrado. Sin embargo, esta forma de entender el

aprendizaje universitario se halla, nos tememos, muy alejada de las concepciones sobre el aprendizaje de profesores y alumnos universitarios y en parte como consecuencia de ello, de lo que pasa día a día en las aulas, los laboratorios y los espacios docentes universitarios (Pozo y Monereo, 2009).

También León (2007) confirma esta idea al señalar:

Entristece intuir que la educación, en esta sociedad nuestra, no ha podido hacer mucho, nos conformamos con educar para las competencias básicas de leer y escribir, unas nociones elementales de cálculo y de ciencias, competencias laborales profesionales fundamentales y en general sólo se estimula la obtención de certificaciones, diplomas o títulos que insertan al individuo en el mercado de trabajo. (p: 601)

Si hablamos de estrategias de aprendizaje, tomado como los procesos de toma de decisiones (conscientes e intencionales) por los cuáles el alumno elige los conocimientos que necesita para cumplimentar una determinada demanda u objetivo, y siguiendo a Monereo (1994), podemos mencionar que en investigaciones sobre las concepciones o estrategias de aprendizaje de esos mismos alumnos, muestran que están centradas sobre todo en apropiarse del producto o del contenido de la enseñanza más que en adquirir capacidades para hacer nuevos usos de esos conocimientos (Pérez Echeverría, Pozo y Rodríguez, 2003). Y, por otra parte, los análisis de las prácticas docentes universitarias siguen mostrando el predominio de un modelo de profesor expositivo, centrado en la transmisión de saberes disciplinares específicos, formado y seleccionado como especialista en el contenido más que en las habilidades para gestionar ese conocimiento con sus alumnos (Pozo y Monereo, 2009).

Teniendo en cuenta lo ya expresado, vemos que la educación se transformó en un proceso de instrucción, por lo que resulta conveniente diferenciar instrucción de educación. Según Bruner (1972), la instrucción implica organizar sistemáticamente el conocimiento didáctico desde dos componentes, a saber:

- el componente normativo, aquel que formula criterios y condiciones para la práctica de la enseñanza;
- el componente prescriptivo, aquel que expone reglas para el logro eficaz de los conocimientos y destrezas.

Entonces, mientras la instrucción se limita a transmitir criterios normativos y prescriptos, destrezas técnicas o teorías científicas, la educación es un proceso más complejo que tiende a capacitar al individuo para actuar conscientemente frente a situaciones nuevas, aprovechando la experiencia anterior y, teniendo en cuenta la inclusión del individuo en la sociedad, la transmisión de la cultura y el progreso social.

La educación tiene asociados dos conceptos paralelos y complementarios que son necesarios de distinguir: la enseñanza y el aprendizaje. Enseñar hace referencia a mostrar algo a los demás, mientras que el aprendizaje, o capacidad de aprender, sería su proceso complementario, considerado un rasgo humano clave.

Aprender, entonces, es una de las capacidades mentales más importantes del ser humano, que le permite a éste adaptar su conducta a las más diversas situaciones que se le presenten, resolviendo de manera exitosa los inconvenientes que pudieran surgirle, para lo cual, además de conocimiento de contenidos conceptuales, se deben adquirir o incorporar habilidades, destrezas, valores y conductas, a través de la vivencia de experiencias, el estudio y la instrucción.

En contraposición con lo expuesto y por la experiencia recogida en años de docencia, se puede señalar que a los estudiantes universitarios les resulta difícil relacionar e integrar conceptos estudiados en una asignatura cuando deben aplicarlos a temas enseñados en otras. En particular, se observa esta problemática con mayor énfasis en los alumnos de los primeros años.

El filósofo y sociólogo francés Edgar Morín (2010), destacado por el planteamiento del nuevo paradigma del pensamiento complejo, propio de una didáctica que aporta nuevas formas de estudiar, comprender y explicar su objeto desde una perspectiva holística del proceso de enseñanza y de aprendizaje, distingue que la base de la crisis que está atravesando la humanidad es una crisis cognitiva, por lo que afirma que “nuestro modo de conocimiento no ha desarrollado suficientemente la aptitud para contextualizar la información e integrarla en un conjunto que le dé sentido” (p.142). Completando esta idea, Yanes (2015) aclara:

Se considera crisis cognitiva, puesto que no se tiene la capacidad de abordar un determinado problema desde diferentes perspectivas. Esto se debería a la sobreabundancia de información, a la fragmentación, a las disciplinas que no se comunican, a un predominio de la hiperespecialización, que rompe el tejido complejo de lo real, y con un predominio de lo cuantificable que sólo busca asegurar en el sistema educativo lo que algunos llaman científicidad a través de la medición. (p. 87)

Reiteradamente se cuestiona la fragmentación y el dominio de la especialización que limita la integración del saber y la construcción del conocimiento general. En este contexto, se considera la necesidad de implementar cambios en las

prácticas docentes, diferentes a las existentes en el sistema de enseñanza tradicional, en la que esté presente la articulación.

Es así, que otra de las dificultades que afronta la formación de profesionales, en general, es la no vinculación de los saberes. Como lo afirma Resnik (1987), el conocimiento fomentado es individual, simbólico-mental, descontextualizado y poco significativo. La currícula mosaico característica de la educación universitaria, fuertemente centrada en el contenido, generalmente, promueve aprendizajes aislados, no contextualizados y no significativos en muchas ocasiones.

Otros autores (Gascón, 2009; Moscato, 2006; Páez, 2011) mencionan esta misma problemática en el aprendizaje de los alumnos vinculada con la desarticulación de los contenidos, además de las metodologías de enseñanza y de evaluación, entre otros.

Chevallard, Gacón y Bosch (1997) por su parte sostienen que existe un peligroso proceso de atomización de la enseñanza, que consiste en la falta de dispositivos didácticos que articulen de manera adecuada el tránsito entre los diferentes momentos del proceso de estudio. A partir de esta atomización se busca proteger al alumno de toda desorganización y evitarle el encuentro con los sucesivos obstáculos epistémicos, pero con ello se fracciona el proceso de enseñanza hasta hacerlo desaparecer como proceso.

Richmond (2006) en el seminario de Políticas Universitarias, dictado en el marco de la Maestría en Educación Superior de la Universidad Nacional de Comahue, menciona, hablando sobre el rol pedagógico de la universidad, que:

...el rol de la universidad se reduce a transmitir saberes que habilitan para el ejercicio profesional. La universidad debe ofrecer al estudiantado una

experiencia totalizante, que implica mucho más que una oferta curricular en términos de conocimientos disciplinares. Debe ofrecer una experiencia en relación con el oficio de pensar, de producir intelectualmente y de formarse como crítico frente a la realidad social. A través de esa experiencia, el estudiante debería ser afectado en su condición intelectual, profesional y ciudadana. (p. 411)

Y haciendo una pequeña mención referida a la articulación de la producción de conocimiento con la extensión, función elemental de la universidad, Brusilovsky (2001) señala que “dicha institución debería cumplir una doble función: por un lado, el contacto con la realidad resulta necesario como fuente de interrogante (...), y por otro lado, la extensión constituye un lugar de práctica que contribuye a poner a prueba, y a validar las soluciones teóricas, y técnicas producidas” (p. 88).

A partir de distintos documentos internacionales, como JOMTIEN¹, para los países de América Latina y el Caribe, el mejoramiento de la calidad de la educación empieza a entenderse como el mejoramiento de los resultados de aprendizaje. Para ello, se aprestaron a encarar la adecuación y articulación de sus contenidos educativos de acuerdo a las necesidades básicas y a promover transformaciones en las prácticas pedagógicas tradicionales.

Otro argumento en esta misma línea se encuentra en los aportes de García (2013), quien recupera las recomendaciones de la CEPAL–ONU², donde se sostiene que

¹ JOMTIEN: Declaración Mundial sobre Educación para Todos “Satisfacción de la Necesidades Básicas de Aprendizaje” (1990)

² CEPAL – ONU (2003) Ciencia y Tecnología para el desarrollo sostenible. Una perspectiva latinoamericana y caribeña. Taller Regional Latinoamericano y Caribeño sobre Ciencia y Tecnología para el desarrollo Sostenible. Santiago de Chile, 5 al 8 de marzo de 2002. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. Serie de seminarios y conferencias n° 25. Santiago de Chile, enero 2003.

los problemas modernos deben estudiarse desde varias disciplinas y conformando equipos, para obtener soluciones integrales, dado que ninguna disciplina por separado, puede dar resultados por sí mismas. Los equipos interdisciplinarios pueden aportar muy poco, si contribuyen únicamente con una visión técnica, sin integrar su conocimiento con las demás disciplinas.

En la primera Jornada sobre las Prácticas Docentes en la Universidad Pública, Costa y Del Río (2016) relatan algunos de los objetivos que se persigue con la articulación:

La articulación de contenidos (horizontal y vertical) permite construir puentes entre los saberes, desarrollar competencias y actitudes, concretar proyectos inter-institucionales curriculares conjuntos, posibilitar la interacción entre alumno-alumno, alumnos-docentes y/o docentes-docentes de las áreas o niveles que se articulan, motivar el interés de los estudiantes por el estudio de los contenidos, además de articular metodologías de trabajo áulico, de modo de evitar fracturas y dar continuidad a las mismas. (p.151 – 152)

La universidad es una institución que debe operar en la esfera del conocimiento y desarrollar, entre otras, dos funciones sustantivas: la de producir y distribuir conocimiento. Por esto la actividad docente, investigativa y de extensión constituyen estrategias que deben ser integradas para promover el desarrollo de dichas funciones.

Por esto y ante lo que se consideró la crisis del paradigma occidental de simplificación y disyunción, basado en la reducción y separación de los saberes, Morín (2007) planteó la emergencia de un nuevo paradigma de la complejidad, con el cual intenta articular y contextualizar las culturas científicas. Para llevar adelante tal propósito, se basó en la integración de ideas, conceptos y nociones provenientes de distintas fuentes

teóricas. En este sentido señala que “el pensamiento complejo, que está en la esencia de la interdisciplinariedad, mantiene una tensión permanente entre la aspiración a un saber no parcelado, no dividido, no reduccionista y el reconocimiento de lo inacabado e incompleto de todo conocimiento” (p. 9).

La Declaración de la Conferencia Regional de América Latina y del Caribe CRES (2008) corrobora cuando declara que la educación superior es un elemento indispensable e insustituible para el desarrollo social, el crecimiento económico, la lucha contra la pobreza y el fortalecimiento de la identidad cultural, con lo que justifica que se introduzcan nuevas formas de enseñanza – aprendizaje que permitan tener modalidades curriculares más flexibles y en permanente actualización. De aquí a que surgiera la preocupación de integrar los saberes y superar la fragmentación del conocimiento, según lo planteado por Morín en 1994, donde traza su preocupación por la compartimentación de las disciplinas a lo que denominó “barbarie al interior de la ciencia”.

Se entiende que, tal como se menciona en Dirección General de Escuelas y Educación (2010) la articulación entre niveles como así también hacia el interior de los mismos, en sus distintos ciclos y pasajes, se torna ineludible como responsabilidad de los actores educativos, ya que interpela a todos y cada uno de quienes participan en la trayectoria escolar.

En este contexto actual y con el cambio de paradigma de la humanidad, del positivismo a la complejidad, nos preguntamos ¿cuál sería esa forma tradicional de enseñanza en la universidad? ¿y cuál la que se adaptaría mejor a este nuevo paradigma?

Tradicionalmente, vemos que la enseñanza en nuestras universidades tiene un enfoque unidisciplinario o multidisciplinario, aquel caracterizado por una disciplina o por una simple yuxtaposición de áreas del conocimiento, en el cual cada disciplina se dedica

a su especialidad sin que haya una relación ni se evidencien modificaciones o transformaciones en las disciplinas involucradas. Ahora, ¿de dónde derivan estas prácticas disciplinarias? En general, vemos que la formación educativa en todos los niveles, no sólo en nuestro país sino en toda América Latina, es básicamente disciplinaria. En el nivel universitario esta orientación se condensa aún más, ya que la enseñanza se mantiene apegada a la tradicional concepción positivista de áreas del conocimiento, basada en divisiones supuestamente pedagógicas.

Apostel (1979) expresa

... para propósitos de enseñanza, el conocimiento se organiza en base a las disciplinas académicas, pues tales disciplinas no son sólo un conveniente medio de dividir el conocimiento en sus elementos, sino también la base sobre la cual la Universidad se organiza en feudos autónomos que definen las diferentes especialidades de la enseñanza y la investigación. Lo que concierne a la disciplina concierne, pues a toda la estructura social de la Universidad. (p: 13)

Elichiry (1987) afirma que:

los diseños curriculares y los planes de estudio de las universidades muestran un parcelamiento del saber en disciplinas aisladas como compartimientos estancos. Esta concepción disciplinaria de la educación universitaria nos lleva a una excesiva especialización que fragmenta el conocimiento en áreas y obstaculiza la comprensión de la pluralidad y complejidad de las dimensiones de la realidad. (p. 2)

Siguiendo esta línea, el doctor en sociología Pedroza Flores (2006) ratifica:

Desde el punto de vista académico, la Universidad como institución se organiza con base en planes de estudio, es la manera en que se traduce la ciencia para su enseñanza; los planes de estudio representan formalmente a una disciplina para ser transmitida en el ámbito de la formación profesional. La disciplina constituye el vínculo entre ciencia y enseñanza, porque es la manera en que se institucionaliza el conocimiento: modo de dividir el saber y organizar la enseñanza. Desde que nacen, en la Edad Media, las corporaciones universitarias se organizan a partir de las disciplinas que enseñan. (p: 71)

La división del conocimiento en disciplinas es, en este sentido, la base de la organización de la enseñanza universitaria que, ante la complejidad y apertura de nuevos saberes, la Universidad tiene que buscar constantemente reacomodarse o buscar nuevas formas de organizar la enseñanza. Autores como Morín (1999) resaltan que "... existe una inadecuación cada vez más amplia, profunda y grave. De un lado, nuestros saberes desarticulados, parcelados y compartimentados y, por el otro, realidades o problemas cada vez más complejos, multidimensionales, polidisciplinarios, transversales, transnacionales, globales, planetarios ... (p: 14).

En general, en gran parte de los programas académicos universitarios, el estudiante cursa dos años de ciencias básicas y el resto de práctica específica. La correlación entre las ciencias básicas y las disciplinares forma parte de la llamada enseñanza transversal, que aspira a relacionar mejor la teoría con la práctica, mezclando las primeras con las segundas en una forma apropiada.

Según Del Pozo Andrés, y por documentos originales que pusieron en marcha el Espacio Europeo de Educación Superior, en el documento presentado en la universidad de la Sorbona el 25 de mayo de 1998, que da el puntapié inicial a la declaración conjunta

firmada en Bolonia en 1999, se clama por el desarrollo de un marco común de trabajo para la enseñanza y el aprendizaje que potenciase la movilidad de profesores y alumnos y una cooperación cada vez más cercana. Para ello se apuntaba a la organización de un sistema con dos ciclos, que permitiera el establecimiento de equivalencias, la implantación de créditos que podrían seguir el esquema ECTS³, y el reconocimiento de las cualificaciones académicas de educación superior. Díaz Barriga (2006), también corrobora cuando habla sobre esta organización por niveles:

Una realidad en los procesos de formación de los conocimientos es que para poder realizar aprendizajes complejos se requiere haber adquiridos aprendizajes simples. Esta perspectiva regresa a una visión sostenida por los modelos educativos anteriores a los del siglo XX, en los que se hacía una importante defensa del orden de los contenidos. Las competencias responden a una visión curricular que organiza la formación profesional por tramos: uno de formación básica y otro de formación aplicada, centrado en la vinculación de los conocimientos y habilidades a problemas profesionales reales. (p:28)

El ciclo básico tiene la responsabilidad de crear condiciones para el buen desarrollo de las competencias en las etapas posteriores, haciéndose cargo, además, de algún nivel de ellas. Es decir, que las dos etapas lógicas convivan no significa que cada lógica sea patrimonio de un tramo curricular.

Las ciencias básicas y la práctica deben integrarse. De esta manera alienta a los estudiantes a ir más allá de la memorización de hechos y conceptos para desarrollar

³ ECTS: en el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), las siglas (European Credit Transfer and Accumulation System) reflejan el sistema de créditos que valoriza el volumen de trabajo del estudiante. Se adoptó en 1989, dentro del programa ERAMUS, para facilitar el reconocimiento de los períodos de estudio en el extranjero, permitiendo aumentar la movilidad de los estudiantes en Europa.

competencias en los procesos de pensamientos científicos. Díaz Barriga (2006) continúa señalando que el principal problema en la educación superior se centra en cómo trazar un currículo por competencias que no se convierta simplemente en una transcripción de contenidos, sino que promueva la creatividad y la aplicación de las competencias genéricas.

Si hablamos de competencias, una de sus características esenciales, en palabras de Maris y Lucino (2007), es poder seleccionar y combinar en función de los objetivos planteados diversos recursos, entre éstos se encuentran: los saberes (teórico, contextual y procedimental), el saber hacer (formalizado, empírico, relacional), y las aptitudes y recursos emocionales.

En este sentido, Perrenoud (1999), expresa que una competencia es una capacidad de actuar de manera eficaz en un tipo definido de situación, capacidad que se apoya en conocimientos, pero no se reduce a ellos, ya que generalmente requiere que usemos y asociemos varios recursos cognitivos complementarios; una competencia tiene que ver con la capacidad de juzgar la conveniencia de los conocimientos de acuerdo a la situación y de manejarlos de la manera más adecuada.

Por lo analizado, se requiere implementar transformaciones profundas para lograr una mayor calidad educativa. Al referirnos a la calidad educativa hablamos de incluir a todos los agentes involucrados, el contexto y los procesos que lo condicionan. El concepto de calidad educativa está estrechamente vinculado al de articulación. Es preciso hacer cambios profundos en las formas de acceder, construir, producir, transmitir, distribuir y utilizar el conocimiento. Como ha sido planteado por la UNESCO en varias oportunidades, las instituciones de Educación Superior, y, en particular, las

Universidades, tienen la responsabilidad de llevar a cabo la revolución del pensamiento, pues ésta es fundamental para acompañar el resto de las transformaciones.

Es por esto que a partir de la década de finales del noventa se considera al enfoque curricular unidisciplinario como reduccionista, transformando lo nuevo y lo complejo en simple y corriente.

El modelo pedagógico hasta esta década basado en darle importancia a la transmisión de conocimientos, teorías y conceptos y a restarle al estudiante en la participación en los procesos de investigación y relación con el entorno para conocer la situación real de las comunidades van quedando obsoletos. Vale mencionar además que entra a funcionar un sistema globalizado en donde el mercado laboral exige convenios con otros países que exigen unas necesidades de formación específicas de acuerdo al contexto.

Para Tedesco (2000) la universidad debe tener como misión principal la de velar por el cumplimiento de esas necesidades globales, teniendo como motor esencial a la investigación aplicada a su entorno social. Por su parte Garcia y Sabán (2007) sustentan la teoría sobre la formación integral del individuo, en donde es el estudiante el responsable del proceso activo de esa formación.

Con base en lo anterior, es imprescindible que se diseñen planes de estudios que garanticen la integración de saberes y superen la fragmentación del conocimiento. Las estrategias de aprendizaje deben ser activas, integradoras e interactivas, que promuevan el razonamiento, el análisis crítico y la toma de decisiones.

De acuerdo a todo lo ya expresado y por razones de índole pedagógica e institucional es imprescindible en el actual contexto de la enseñanza, favorecer la

articulación interdisciplinar entre saberes de diferente naturaleza, reflexionando sobre la ubicación más oportuna de ciertos saberes básicos complejos, como también de aquéllos de tipo profesional que normalmente se ubican en el tramo final.

Como expresamos, el contexto al que ha de responder la educación superior está cambiando, y es necesario que también se modifique el modelo de formación si se quiere dar respuesta a las necesidades de este nuevo contexto. En palabras de Mora (2004), la globalización del contexto de la educación superior es casi una obviedad. El mercado laboral, sobre todo el de los graduados universitarios, se está haciendo global en un doble sentido: no sólo los graduados trabajan con creciente frecuencia en otros países, sino que lo hacen en compañías transnacionales cuyos métodos de trabajo, de organización y de actividades tienen un carácter global. Esa globalización, y, por tanto, la de sus requerimientos formativos, afecta de manera muy directa al funcionamiento de las instituciones universitarias, que deberán dar respuesta a unas necesidades de formación que ya no son las específicas de un entorno inmediato. Otra característica importante de la globalización es la velocidad con la que se mueve el conocimiento.

En las últimas décadas, las viejas instituciones medievales han experimentado la transformación más importante de toda su historia: pasar de ser unos establecimientos dedicados a formar a las elites, a convertirse en el lugar de formación de una gran parte de la población, lo que ha venido en llamarse un sistema de educación superior universal (Trow, 1974)

La multidisciplinariedad es una necesidad creciente en los supuestos de trabajo. Por otro lado, los conocimientos se convierten en obsoletos en muy breve período de tiempo. Los modelos pedagógicos tradicionales, en los que un profesor trataba de enseñar el estado del arte de una profesión, ya no sirven. Hay que crear un entorno de aprendizaje

continuo alrededor de los estudiantes que les capacite para seguir aprendiendo a lo largo de toda la vida, y que les permita permanecer receptivos a los cambios conceptuales, científicos y tecnológicos que vayan apareciendo durante su actividad laboral. Hay que pasar de un modelo basado en la acumulación de conocimientos a otro fundamentado en una actitud permanente y activa de aprendizaje. Dado que la transmisión de conocimientos no puede continuar siendo el único objetivo del proceso educativo, el modelo pedagógico sustentado en el profesor como transmisor de conocimientos debe ser sustituido por otro en el que el alumno se convierta en el agente activo del proceso de aprendizaje, que deberá seguir manteniendo durante toda su vida. La función del profesor será la de dirigir y entrenar al estudiante en ese proceso de aprendizaje.

Entonces, ¿por qué nos interesa particularmente la articulación y la interdisciplinariedad en Ciencias Naturales?

Si el alumno estudia las matemáticas sin relacionarlas con otras disciplinas, le surgen dudas sobre su utilidad o su aplicación futura. Sólo no es capaz de integrar contenidos resultándole difícil ver la coherencia de los mismos. Si, por el contrario, los contenidos matemáticos se aplican a los contenidos de la especialidad, se logrará el interés y el alumnado comprenderá la importancia que tiene su desarrollo como futuros profesionales.

En el contexto citado, la interdisciplinariedad es uno de los problemas teóricos y prácticos esenciales para el progreso de la ciencia. El concepto de unidad entre las diversas ramas del saber y el de sus relaciones y acciones recíprocas ocupan un lugar cada vez mayor en el análisis filosófico, metodológico y sociológico del progreso científico del mundo actual.

Según Quintana (1997), la interdisciplinariedad la encontramos a cada paso en la epistemología pedagógica. Y no puede ser producto de la espontaneidad del colectivo o de una persona, se necesita del conocimiento de los nexos y relaciones entre las disciplinas del área para lograr interpretar la realidad desde una postura más globalizada, por lo que se precisa además la proyección de un trabajo conjunto, de manera que se tracen acciones comunes que orienten, ejecuten y garanticen la evaluación y optimización de cada estudiante.

La determinación de nexos interdisciplinarios esenciales para las asignaturas de Matemática y Ciencias Naturales se debe realizar a partir del conocimiento de las necesidades del contexto y de los objetivos de los programas y las disciplinas, de manera que se logren establecer verdaderas relaciones de complementariedad entre las disciplinas.

En el conocimiento de las necesidades del contexto se incluyen las necesidades cognoscitivas del claustro del área, a través de las cuales se debe comenzar a desarrollar sistemáticamente un trabajo didáctico – metodológico, que manifieste como principio fundamental la aplicación de la interdisciplinariedad.

Los nexos entre asignaturas expresan la posibilidad de establecer la interdisciplinariedad del saber entre las ciencias, su compenetración mutua, su integración, lo que permite transformar las concepciones de ciencias particulares en concepciones de ciencias generales.

La interdisciplinariedad en el área de Ciencias Naturales no debe significar una simple sumatoria de varias disciplinas, pues, en su interrelación, los contenidos desempeñan funciones individuales (precedentes), conocimientos comunes (concomitantes) y nexos relacionales con los contenidos de otras disciplinas

(perspectivas), que se integran para descubrir y desplegar el cuadro del mundo y las regularidades de la naturaleza, a través de la interpretación de las leyes más generales de la naturaleza, que permiten explicar los diferentes hechos y fenómenos que en ella ocurren. (Leyva, 2007).

Concluyendo, por todo lo dicho, como docentes estamos obligados a transformar las prácticas tradicionalistas caracterizadas por la transmisión y memorización de contenidos, por otras que le permitan al estudiante aplicar los conocimientos adquiridos en situaciones diversas. Es decir, reemplazar el trabajo individualista por uno articulado e interdisciplinario que favorezca y fortalezca el intercambio de saberes, de experiencias y la construcción colectiva del conocimiento, que a largo plazo aporten significativamente a los procesos de enseñanza – aprendizaje y a la calidad educativa.

Y.... ¿por qué matemática.... y biología?

La matemática como ciencia formal, de acuerdo a Mora Guevara et al (2018) se encarga del estudio, análisis, relaciones y propiedades de entidades abstractas como son los números, símbolos y figuras geométricas, haciendo uso del razonamiento lógico. Es una ciencia que se interrelaciona con otras ciencias. Vázquez (2002) afirma que:

La matemática es un arte que expresa la belleza en forma de axiomas, teoremas y relaciones lógicas o numéricas y atrae al investigador precisamente por su perfección lógica, siendo uno de los ejemplos más claros y convincentes de la capacidad humana para el razonamiento y el análisis. Ella impone orden y armonía donde solo veamos desorden y caos. (p.1)

Pero esta ciencia no es estacionaria; se ha desarrollado por el genio de grandes pensadores; está presente en todas las ciencias, y lo que tiene de característico es que sus

progresos son siempre deducciones, corolarios implícitos de cada una de sus teorías fundamentales. Pero es necesario considerar que la naturaleza de la matemática es bastante compleja, por ello según Cantoral (1999) es menester la reconstrucción del conocimiento en las aulas de clases, a fin de hacer la matemática socializable, entendible en la diversidad de educandos y maneras de pensar o significados. Según este autor los conocimientos matemáticos tienen un origen y una función social que tienen que ver con las prácticas humanas.

Pese a este aislamiento mostrado en las aulas, la matemática sigue asimilando datos y entendiendo los fenómenos. Las visiones complementarias de esta ciencia, en palabras de Rodríguez (2011):

su aspecto cultural, su importancia en la enseñanza como vehículo del pensamiento racional, su preponderancia para comprender el mundo cotidiano, su aspecto de juego intelectual, siguen situando a esta ciencia en un lugar privilegiado. Hoy en día tiene el reto computacional, de capacidad y efectividad de procesar información. (p:39)

Aprender matemáticas permite desarrollar la capacidad del pensamiento por su utilidad tanto para la vida diaria como para el aprendizaje de otras disciplinas, además de ser una ciencia de lenguaje universal. La importancia de estudiar matemática radica en ser una ciencia que favorece el desarrollo del razonamiento y el pensamiento analítico.

Aprender matemáticas favorece el pensamiento analítico, ya que ayudan a descomponer los argumentos en premisas, ver las relaciones entre ellas y juzgar la veracidad o confiabilidad de las mismas, lo que beneficia la agilidad mental mediante el pensamiento racional. Esto puede traducirse luego a la capacidad de resolver problemas

de la vida cotidiana, relacionando los datos que tenemos para llegar a conclusiones más lógicas.

Este pensamiento analítico nos ayuda a conocer el mundo que nos rodea mediante la habilidad de investigar, ya que se busca la verdad basada en evidencias y no en emociones. Esto debido a que las matemáticas permiten razonar mediante una fórmula lógica tomando datos reales que puedan ser verificados.

La matemática desarrolla la capacidad de pensamiento, encontrar la solución a un problema requiere de todo un proceso de análisis coherente, por lo que ayuda a ordenar ideas y expresarlas de forma correcta. Fomenta la sabiduría además de provocar e impulsar a la curiosidad.

En resumen, la actividad científica, en general, es una exploración de ciertas estructuras de la realidad, entendida esta en sentido amplio. La actividad matemática se enfrenta con un cierto tipo de estructuras que se prestan a unos modelos particulares de tratamientos que incluyen la simbolización adecuada, que permite presentar eficazmente las entidades que maneja, una manipulación racional rigurosa y el dominio efectivo de la realidad a la que se dirige.

Las matemáticas han tenido una larga intervención en las ciencias biológicas y la sinergia entre ambas ha enriquecido los logros de ambas ciencias por muchos años (Hastings y Palmer, 2003), y se espera que para las próximas décadas esta relación sea mucho más fructífera (Cohen, 2004; May, 2004). Se trata de una relación, que como señala Kari (1997) posee una alta interdisciplinariedad establecida desde los planteamientos no determinista y las aplicaciones estadísticas que son necesarias para llegar a explicaciones reales en el campo de las biología. De allí la importancia de mantener un especial cuidado con las estrategias necesarias para la enseñanza de las

matemáticas en la formación de los estudiantes universitarios de las ciencias biológicas (Jungck, 1997; Pérez et al., 2006)

El año 2018 ha sido proclamado Año Internacional de la Biología Matemática por dos sociedades científicas: la European Mathematical Society (EMS) y la European Society for Mathematical and Theoretical Biology (ESMTB). Los principales objetivos de esta celebración fueron señalar el incremento y la importancia de las aplicaciones de las matemáticas a la biología y a las ciencias de la vida y fomentar esta interacción. Es un camino de ida y vuelta donde no solo se aplican las matemáticas, sino que la biología también ha proporcionado importantes desafíos que han de ser afrontados por las matemáticas. (de León; Gómez Corral, 2018)

Ángel Calsina et al (2018) definen

La Biología Matemática ocupa la frontera entre la biología y las matemáticas, y su objetivo consiste en proporcionar herramientas teóricas, y especialmente métodos matemáticos, para explicar fenómenos de la biología y para incidir positivamente en la comprensión, la predicción y a veces el control de los sistemas de las ciencias de la vida. A la vez, y como ocurre obviamente con la física, a menudo los intentos de comprensión de los procesos biológicos son fuente de problemas matemáticos y obligan a la creación de nuevos desarrollos.

Ciertamente, la definición precedente sólo es aceptable si primero se acepta que la biología y la matemática tienen un lugar donde encontrarse y no son en absoluto dos disciplinas científicas tan alejadas como a veces tendemos a pensar, la segunda ocupándose de conceptos abstractos y derivando resultados sólo de la lógica pura, y la primera, paradigma de la ciencia experimental,

estudiando sistemas tan complejos que parece quimérico intentar reducirlos a leyes simples y elaboraciones matemáticas. (p:42)

La matemática y la biología son denominadas muchas veces la pareja ideal. Es, por lo tanto, importante resaltar las conexiones entre las matemáticas y la biología. Estas conexiones son especialmente relevantes en el ámbito educativo, donde promover esta interacción les daría a los docentes de ambos campos instrumentos para hacer ver a sus alumnos que el desarrollo científico no se produce independientemente, sino que las diferentes ciencias se van realimentando continuamente.

El término biología viene de dos palabras griegas Βίος (bíos) que significa vida y λογία (-logía), que significa tratado, estudio o ciencia. Por lo tanto, como simplificación se puede decir que la biología es el estudio de la vida. Según la RAE, la biología es la ciencia que trata de los seres vivos considerando su estructura, funcionamiento, evolución, distribución y relaciones.

La biología es una de las ciencias naturales que tiene como objeto de estudio a los seres vivos y más específicamente, su origen, su evolución y sus propiedades: génesis, nutrición, morfogénesis, reproducción, patogenicidad, etc. Se ocupa tanto de la descripción de las características y los comportamientos de los organismos individuales como de las especies en su conjunto, así como de la reproducción de los seres vivos y de las interacciones entre ellos y el entorno. De este modo, se ocupa de la estructura y la dinámica funcional comunes a todos los seres vivos con el fin de establecer las leyes generales que rigen la vida orgánica y los principios explicativos fundamentales de ésta

Por esto, es justo reconocer a la Biología un lugar central de la ciencia, puesto que es, entre todas las disciplinas, la que intenta ir más directamente al centro de los problemas que se deben haber resuelto antes de poder tan sólo plantear el de la “naturaleza

humana”, en unos pocos términos que no sean metafísicos. Así, la Biología es para el hombre la más significativa de todas las ciencias; la que ya ha contribuido, sin duda más que ninguna otra, a la formación del pensamiento moderno, profundamente trastornado y definitivamente marcado en todos los terrenos; filosófico, religioso y político, por el advenimiento de la teoría de la Evolución. (Jacques Monod, El azar y la necesidad. Prefacio)

La comprensión de muchos procesos biológicos en base a modelos está en sus primeros pasos, y las matemáticas pueden aportar su grano de arena en esta gigantesca empresa. El rigor metodológico que los matemáticos transfieren es infinitamente valioso para descartar o avalar hipótesis realizadas por los biólogos.

Dichos científicos son una fuente inagotable de problemas matemáticos, comparables a la que supuso la física durante los siglos XIX y XX.

La matemática es un microscopio metodológico que nos permite describir, explicar o predecir fenómenos de naturaleza biológica. La variedad de métodos y técnicas matemáticas que se han desarrollado a lo largo de los siglos proporcionan una gama considerable de herramientas para resolver muchos tipos de problemas biológicos. Pero no todo problema biológico requiere del uso intensivo o extensivo de técnicas matemáticas y, alternativamente, no existe una única manera de modelar un proceso.

Si bien hay áreas matemáticas más proclives a tener contacto con la biología, como las ecuaciones en derivadas parciales, la física matemática, la modelación matemática y numérica, la estadística, los procesos dinámicos y otros, hay muchas interacciones que están surgiendo en campos no tan aplicados como, por ejemplo, la topología o el álgebra computacional. (Calsina et al. 2018. p:40).

En cualquier caso, la matemática ha hecho mella en la adquisición de conocimiento biológico desde hace varios siglos y, en el siglo pasado, en particular, su influencia fue relevante en varias áreas de las ciencias biológicas (Velasco – Hernandez, 2000). Sólo cabe esperar que la aplicación de herramientas y lenguajes matemáticos en biología se incremente tanto en profundidad como en potencia en los años venideros (Chicurel, 2000)

El surgimiento del estudio de la vida tiene sus orígenes en la Antigua Grecia, nos relata Bermudez (2015), de la mano de Aristóteles (384 a.C. – 322 a. C.). Desde entonces, y por muchos siglos, las investigaciones sobre los seres vivos continuaron sin ser reconocidas por su estatus científico. Ya en el siglo XX, la Biología fue denostada por el Círculo de Viena, el cual concebía a la Física como modelo de ciencia. (Lorenzano, 2001; 2002)

La imagen galileica de ciencia se ancló en la matemática (“[la naturaleza] no puede entenderse sino se aprende primero a comprender el lenguaje ... de la matemática, y sus letras son triángulos, círculos y otras figuras geométricas ...”), la que se convirtió en la marca distintiva de cualquier ciencia verdadera (Mayr, 2006). En este contexto, la existencia de la Biología como campo de estudio fue ignorada por los historiadores y filósofos del círculo de Viena, Hempel, Popper y Khun de manera sistemática (Lorenzano, 2001). De hecho, como afirma Jimenez Aleixadre (2009), los filósofos de la ciencia clasifican a las ciencias (como la Física, la Química y la Biología) según su grado de matematización o por la posibilidad de realizar experimentos controlados. La Biología, por ende, se encontraba entre las “ciencias blandas” (junto con las ciencias sociales, como la Antropología, Política, Psicología, etc.), lo que equivalía a un menos estatus científico que el de las “ciencias duras” (en general, las ciencias naturales como la Física, la química o la Astronomía)

Al respecto, Piaget (1979) expresó en su libro *Introducción a la epistemología genética* que:

Al igual que la físico – química, la biología clasifica los objetos sobre los que trabaja, dilucida sus relaciones en forma de leyes e intenta explicar causalmente estas clasificaciones y leyes. Sólo que la estructura de estas clases (...) en lugar de alcanzar en todos los casos y con mayor o menor facilidad un nivel matemático, conserva a menudo un carácter cualitativo, o simplemente lógico, sin que las mediciones den un lugar a una deducción propiamente dicha. (p:14)

Para concluir preguntándose: “¿Se puede admitir que el conocimiento biológico, bajo sus formas cualitativas, constituye una etapa inicial necesaria, destinada a ser seguida tarde o temprano por etapas matemático – deductivas?” (p: 14).

Metodología

En este trabajo realizamos una descripción del estado del arte de la articulación entre matemática y ciencias naturales, en formato narrativo, en búsqueda de interpretar las implicancias y relevancia de la enseñanza desde las miradas y acciones conjuntas de las diferentes disciplinas, así como las experiencias que ya se están llevando a cabo en diferentes entidades educativas. De acuerdo a Hoyos (2010) una investigación documental es un procedimiento científico con el fin de alcanzar un conocimiento crítico sobre un fenómeno. En tal sentido, abordamos en este trabajo las siguientes fases: preparatoria, descriptiva e interpretativa.

Iniciamos con una fase exploratoria y preparatoria para definir los conceptos inclusores de búsqueda. Luego, continuamos con la fase descriptiva, examinando los artículos encontrados, para finalizar con la fase de interpretación, en la cual se procedió al análisis crítico de cada concepto central y una contextualización general a modo de

conclusión, que representa un sustento o marco teórico de la articulación pedagógica entre la matemática y las ciencias naturales, abriendo la posibilidad de contar con soporte conceptual y metodológico para diseñar a futuro estrategias que impliquen mejoras en el logro de aprendizajes significativos por los alumnos.

Análisis de Resultados

Fase Preparatoria

Se realizó una búsqueda en función a los siguientes conceptos centrales: articulación, interdisciplinariedad, trabajo colaborativo, ciencias, Matemática, Ciencias Biológicas, ABP. Dichos conceptos funcionaron como descriptores para una búsqueda amplia en bases de datos especializadas y bibliotecas, focalizando en el campo de análisis propuesto. Las fuentes consultadas y exploradas fueron:

- Bases de datos especializadas: Scopus, SciELO, Redalyc y Dialnet.
- METABASE: proyecto auspiciado por la Fundación Acceso, que reúne información de diversas bibliotecas de Centroamérica. La dirección de acceso es: <https://www.metabase.net/>

Se emplearon como motores de búsqueda especializados en información académica Google, con su servicio de búsqueda de artículos académicos: <https://scholar.google.com/> y EBSCO, medio electrónico exclusivo que puede accederse por medio de Internet.

Asimismo, las fuentes documentales las clasificaron de acuerdo a Pedraz (2004) como:

- Primarias: originales, transmiten información directa (artículos originales, tesis).
- Secundarias: ofrecen descripciones de los documentos primarios (catálogos, bases de datos, revisiones sistemáticas, resúmenes).
- Terciarias: sintetizan los documentos primarios y secundarios (directorios)

En la recopilación bibliográfica de cualquier tipo hay que ser cuidadoso del registro de la información que éste ofrece. Para esto se realizó el fichado de la información, consignando la siguiente información:

- Autor o autores (apellido e iniciales de nombres, año)
- Título de la obra (si es un libro: año de edición, editorial, país)
- Si es un artículo (revista, número de publicación, año)
- Breve opinión o comentario sobre lo que trata (resumen personalizado).

Para la organización de la información se elaboró una tabla de Excel de análisis y síntesis, en la cual se incluyó la información esencial procedente de cada artículo, de acuerdo al objetivo planteado en la revisión para poder realizar el análisis y comparación al estilo de la propuesta de Burns y Grove (2004).

También se utilizó el gestor web Zotero para organizar las referencias bibliográficas y crear bases de datos de simple acceso, en forma remota, a cualquier cita recopilada. Además, con el uso del gestor se pudo importar dichas referencias al presente documento evitando errores de transcripción o tipográficos y facilitando la creación de las bibliografías con formato seleccionado. También se pudo disponer de la documentación para el trabajo colaborativo, de modo remoto.

Se realizó un análisis lexicométrico de textos, el cual se efectuó con el programa IRaMuTeQ (Interfaz de R para el Análisis Multidimensional de los Textos y Cuestionarios). Se realizaron análisis de similitudes a partir de los corpus de textos correspondientes a diferentes trabajos bibliográficos, y se generaron nubes de palabras para graficar la frecuencia de cada forma en las conclusiones de cada trabajo.

Para hacer las citas en el texto y en el listado de referencia al final del trabajo, se adoptó el sistema APA (American Psychological Association).

Fase Descriptiva

A partir de los conceptos centrales de búsqueda empleados se categorizó el material y efectuó su análisis. Las unidades de análisis fueron definidas luego de un proceso inicial de aproximación y búsqueda de antecedentes sobre el tema.

Estos conceptos descriptores se emplearon en los motores de búsqueda para contextualizar la temática de esta investigación documental. En este trabajo se han consultado y referenciado, 39 artículos sobre conceptualizaciones para fundamentar el marco teórico, un total de 17 artículos, sobre aportes metodológicos y epistemológicos, y 15 artículos de experiencias de integración curricular y aplicación de estrategias de aprendizaje activo.

Luego de analizar el contenido de los artículos citados se pudieron identificar cuestiones relevantes que aparecen con alta frecuencia y que determinan su consideración como unidades de análisis.

Dichos conceptos relevantes y su frecuencia de aparición en los diferentes artículos se pueden apreciar en la nube de palabras (fig. 1).

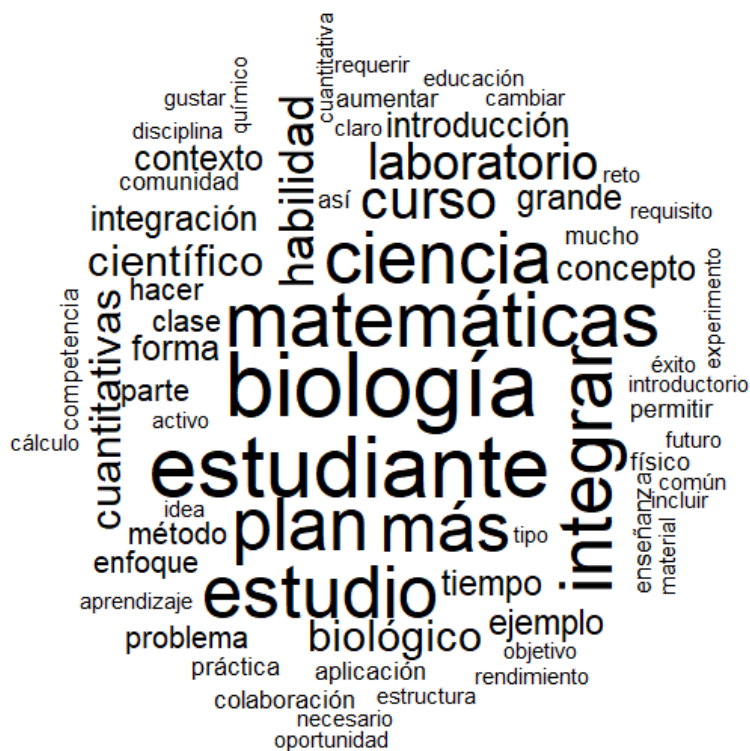


Figura 1: Nube de palabras de términos presentes en las conclusiones de los artículos analizados.

A modo de sistematizar mostramos los términos inclusores y los términos asociados que se presentan en el análisis de la bibliografía (Tabla 1).

Tabla N° 1: Términos inclusores - asociados

Término inclusor	Términos asociados
Articulación	Integrar Integración Estructura Plan de estudio

Interdisciplinariedad	Disciplina Multidisciplina Introducción
Trabajo Colaborativo	Colaboración Contexto Comunidad
Ciencias	Laboratorio Método Experimento
Matemática	Cuantitativo
Ciencias Biológicas	Biología Biológico
ABP	Enfoque Estudiante Método Tiempo Habilidad Competencia Aprendizaje activo

A continuación, se conceptualiza brevemente sobre cada uno de estos términos inclusores, infiriendo las relaciones que emergen con los demás términos asociados.

El término **articulación**, según el diccionario de la Real Academia Española (2007), proviene del latín *articulatio* que significa unión o enlace de varias piezas de forma tal que sean posible los movimientos entre ellas como efecto de una acción o fuerza interna o externa. Cotidianamente, articulación es el lugar donde se unen dos cosas.

Sin embargo, en el sistema educativo es necesario aclarar y consensuar las definiciones conceptuales y establecer su abarcabilidad para aplicarlas a la realidad educativa institucional particular evitando las posibles interpretaciones individuales que pueden naturalizarse y dificultan las acciones posteriores, entonces citamos la definición del Ministerio de la provincia de Córdoba, Argentina: “en el sistema educativo, articular tiene la implicancia de concebir dispositivos mediadores entre componentes considerados como entidades diferentes, estableciendo vínculos entre disciplinas, donde los criterios de organización de los contenidos no estén centrados sólo en los enfoques epistemológicos, sino también en las características de los sujetos que aprenden, en el contexto institucional y en la realidad social” (Lara, 2004).

Numerosos estudios defienden el desarrollo de experiencias en las que los contenidos se conecten y se presenten de manera que hagan referencia a situaciones reales como estrategia didáctica para lograr una mayor comprensión y funcionalidad de los mismos y, al mismo tiempo, desarrollar competencias (UNESCO, 1998; Brical, 2000; Pérez Gómez, 2005; Wall y Shankar, 2008; Cuadrado et al, 2009). Según Pérez los conocimientos sin vinculación entre sí rompen la asimilación consciente de los conocimientos y habilidades (Pérez et al, 2006), por lo que la formación conlleva integrar disciplinas, conocimientos, habilidades, práctica y valores. Concibiendo la integración como la constitución de un “todo”, o sea combinar las diferentes partes.

Avanzando en estas distinciones conceptuales, se pudo reconocer que la articulación disciplinar horizontal lleva a la **interdisciplinariedad** como estrategia metodológica, entendida la misma como la colaboración sistemática y científica de cada una de las disciplinas en función de enriquecer el saber (Lazo, 2011).

La articulación interdisciplinar permite ofrecer a los alumnos las herramientas para que ellos mismos logren vincular y construir un conocimiento holístico que posibilite la interpretación de hechos y problemáticas de la realidad imposibles de ser resueltos con una mirada fragmentada.

La relación interdisciplinaria de las matemáticas con el resto de las disciplinas es, además de necesaria, posible, dado que las mismas no sólo suponen un fin en sí mismo, sino que, como ciencia aplicada, son un instrumento que usan el resto de las materias para expresar relaciones, leyes, modelos y analizar situaciones, entre otras aplicaciones. Todo esto nos lleva a afirmar que la interdisciplinariedad sería deseable se constituya en una estrategia metodológica para el aprendizaje de cualquier disciplina y, en especial, de las **matemáticas** aplicadas y relacionadas con las **ciencias biológicas**. Esta interdisciplinariedad no sólo supone una estrategia de enseñanza y de aprendizaje de las matemáticas, sino que también podría ser el eje para lograr la formación integral del alumnado.

En ese sentido, cobra relevancia la vinculación de los términos que aparecen con alta frecuencia en la bibliografía donde se relatan experiencias de articulación entre las **ciencias**, matemática y biología, y que, por su complejidad, necesariamente vinculan el **trabajo coordinado y cooperativo** de la comunidad educativa completa. Sólo desde la interpretación y diagnóstico del contexto, es que se debería orientar la formación

integral y el desarrollo de habilidades o competencias de los estudiantes, futuros profesionales.

Entre las propuestas metodológicas sugeridas para lograr estos procesos de interdisciplinariedad se priorizan, en la bibliografía, aquellas metodologías de aprendizaje activo, como el **Aprendizaje Basado en Problemas (ABP)**, las cuales son consideradas como promotoras de esta formación holística de los estudiantes. En particular, el aprendizaje basado en problemas, implica al estudiante en el aprendizaje de contenidos, procedimientos y desarrollo de actitudes a partir de una situación real de su contexto (problema), lo vincula a su ambiente, a enfrentar una situación mediante una interpretación individual del problema que deberá consensuar en el grupo de pares. De esta forma, se potencia la vinculación transversal de diferentes disciplinas. Un planteo correcto de esta estrategia permitiría el desarrollo de habilidades y actitudes más allá de la adquisición de conocimientos. Resolver problemas, enfrenta a los estudiantes al empleo y desarrollo de juicio crítico, búsqueda de información y trabajo contextualizado, al mismo tiempo que permite la interacción con otros fomentando la capacidad de trabajar en equipo. En el caso de la enseñanza – aprendizaje de las matemáticas esta contextualización citada resultaría relevante porque justamente es un desafío particularmente evidente en la actualidad.

Para profundizar en las conexiones del corpus textual completo sin tener en cuenta las unidades de contexto específicas se ha realizado un análisis de similitud. Este tipo de análisis considera que a mayor número de sujetos trate dos elementos de la misma manera, éstos serán más próximos en la estructura representacional sobre el objeto al que se refieren (Latorre, 2005). Permite definir la identidad de los núcleos representacionales de los sujetos, ya que el programa identifica núcleos semánticos detectados por coocurrencias entre palabras según sus conexiones en el texto. Presenta un resumen de la

Lic. Adriana Batalla

estructura contenida en una representación, a partir de un gráfico con forma de árbol que representa las formas máximas y las afines, donde los nodos son las formas y se ponen de manifiesto las comunidades lexicales (Ormeño, 2017), visibilizando “las clases constituidas y la intensidad de los vínculos entre los elementos que componen una representación sobre un objeto” (Latorre, 2005, p. 11).

En nuestro corpus, conformado a partir de los textos redactados en las conclusiones de los artículos analizados, se observa que se han generado tres nodos que se presentan en forma independiente, por un lado, el referido al plan de estudio donde se trabaja en forma integrada, por otro lado, el nodo de las disciplinas matemática y biología, y por último el nodo del alumno vinculado a las habilidades que se plantean desarrollar (Fig. 2).

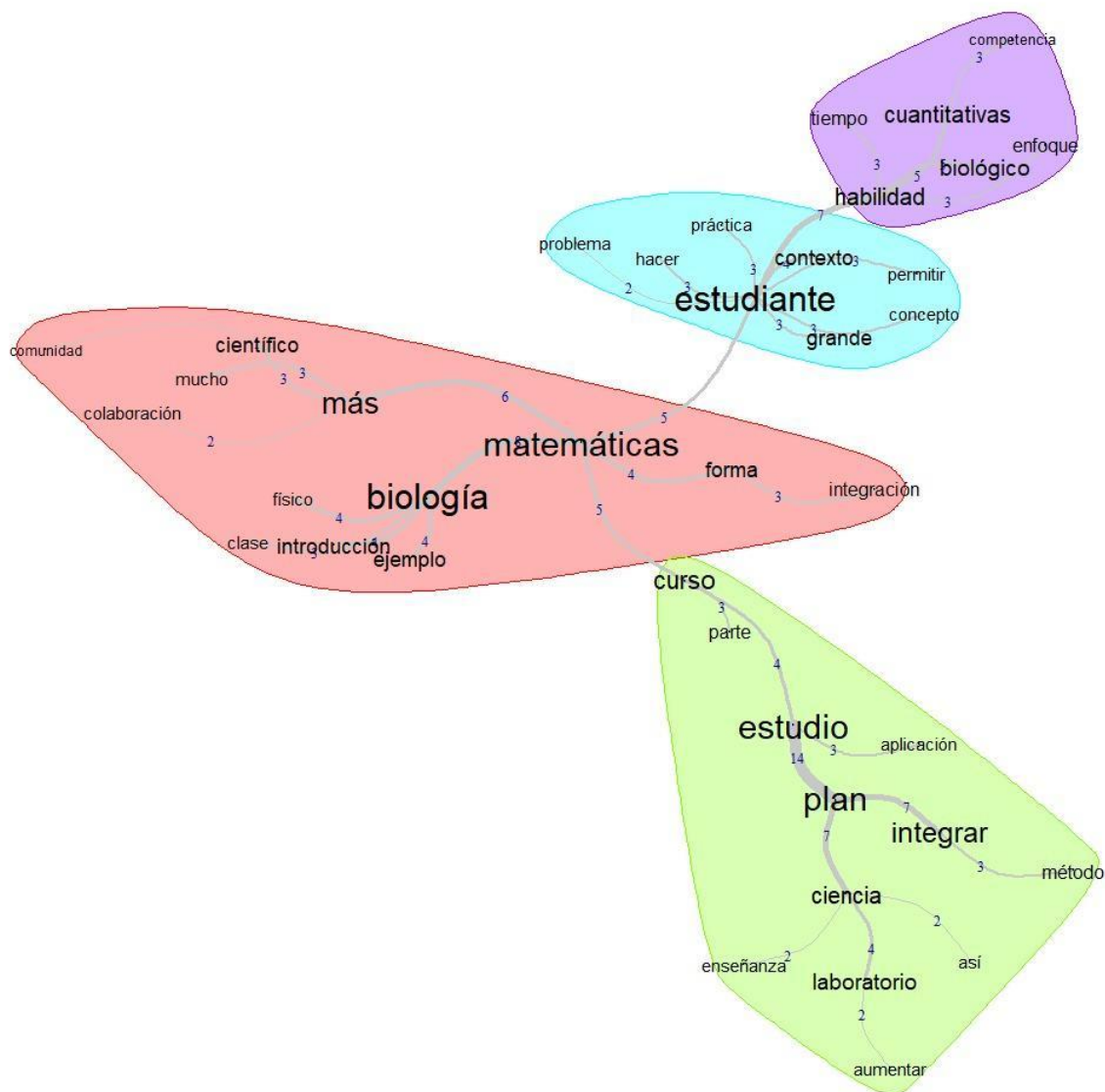


Figura 2: Análisis de similitud del corpus conformado por las conclusiones de los trabajos bibliográficos correspondientes a la integración de matemática y biología en diferentes universidades.

Fase Interpretativa

Abordamos, en esta fase, el análisis crítico y realizamos una contextualización general que represente un sustento o marco teórico de la articulación pedagógica entre la matemática y las ciencias naturales.

Esta investigación documental se inicia a partir de la percepción de que la gran mayoría del alumnado no tiene claro el sentido de las matemáticas en contexto de la ciencia en general y de la biología en particular, lo cual sustenta más dudas que certezas respecto al por qué y para qué del estudio de la matemática como parte de su formación profesional. Por otro lado, más allá, la dinámica que se observa hoy en día en las aulas universitarias, o, mejor dicho, la forma de entender la docencia y el aprendizaje, choca frontalmente con el objetivo de formar profesionales íntegros y calificados para ejercer en la sociedad actual, y consignado específicamente como perfil del egresado de nuestra facultad. Adoptar un enfoque interdisciplinar en la docencia implica proponer el desarrollo de supuestos de carácter transversal para que el alumno sea capaz de adoptar una visión más amplia y analizar el mismo fenómeno considerando distintas facetas, correspondientes a las distintas disciplinas, que implicaría un aprendizaje holístico.

Luego de estas conceptualizaciones y observación del contexto, analizamos ejemplos de experiencias en instituciones universitarias...

En las experiencias recopiladas para este trabajo documental existe coincidencia en que los estudiantes de biología deben enfrentar un ejercicio profesional que implica desafíos en cuanto nuevas formas de pensamiento y nuevas formas de relaciones, que implican poder proponer soluciones complejas, para ello el conocimiento es esencial, pero los biólogos también necesitan desarrollar fortalezas fuera de su especialidad para contribuir plenamente y comprometerse con estos problemas. También

que es importante que los enfoques matemáticos se conviertan en un componente integral de la educación en biología, que desde hace mucho tiempo la enseñanza fragmentada de la ciencia en nuestras universidades todavía deja a la biología fuera de la cultura cuantitativa y matemática queda restringida a los ciclos básicos impartida en forma disociada de las temáticas disciplinares. Asimismo, se señala que es necesario fomentar las competencias cuantitativas en nuestros estudiantes desde el inicio de sus trayectos formativos, como también el trabajo interdisciplinar y en equipo. En ese sentido en todas las experiencias analizadas de las diferentes universidades, esto es; en la Universidad de Princeton (Bialek and Botstein, 2004), en la Universidad de Maryland-College Park y Davidson College (Feser *et al*, 2013), en la Universidad de Arizona (Hester *et al*, 2014) y en la Universidad Tecnológica de Luisiana (White and Carpenter, 2008), plantean un plan de estudios de ciencias integrado, con articulación de biología y matemática, y entre otras disciplinas dependiendo de la Universidad.

El proceso ejecutado en las fases preparatoria y descriptiva permite validar categorías como sustento para el planteo de un proyecto de articulación entre biología y matemática, que podría significar a futuro, una modificación en el diseño de los planes de estudio actuales en nuestra universidad.

Como hemos explicitado, la articulación debe contextualizarse institucionalmente, por lo que debe abarcar una mirada compleja desde diferentes áreas, por un lado, la estructuración del plan de estudios y lo referido a la logística de aplicación de dicho plan, que integrará las acciones de gestión e involucra a los gestores como protagonistas en primera instancia, y por otro lado, el trabajo docente integrado que se vincula directamente a los estudiantes como partícipes necesarios del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Comenzar por experiencias puntuales donde se planifique de forma integrada una actividad o actividades en el desarrollo de una temática determinada, representaría un buen comienzo, no sólo en la dirección planteada de un plan de estudio integrado sino en la adquisición de experiencia y capacitación en la implementación de diferentes estrategias didácticas, como el ABP, por parte de los docentes de las diferentes disciplinas.

Después del análisis de las experiencias en las universidades extranjeras, realizamos una primera aproximación a tópicos generales necesarios que deberían considerarse en el momento de la revisión de un plan de estudio, para que el mismo habilite a la articulación y la interdisciplina.

Análisis del perfil del egresado

Actualmente, un profesional científico requiere el dominio de un conjunto de habilidades para abordar y resolver situaciones problemáticas en forma integrada con otros y al servicio de otros, desde una mirada holística y multidisciplinar. En particular, un biólogo debe ser capaz de abordar un fenómeno biológico de una forma cuantitativa, es decir poder interpretar la naturaleza numérica de datos, métodos, investigaciones y/o resultados obtenidos, como también, poder realizar observación con inclusión de un razonamiento lógico-matemático.

Las competencias cuantitativas constituyen habilidades esenciales para los biólogos profesionales, que les permiten interpretar y comunicar eficazmente datos complejos. En el informe *Vision and Change in Undergraduate Biology Education* se solicita que se haga hincapié en las competencias básicas de razonamiento cuantitativo, la modelización y la simulación de sistemas complejos. Los estudiantes de grado deben aprender a aplicar las habilidades cuantitativas a los temas biológicos y utilizar el

razonamiento cuantitativo para interpretar los datos. También deben ser competentes en el uso de la modelización y en la exploración de sistemas con enfoques computacionales (American Association for the Advancement of Science [AAAS], 2011). A las sugerencias de dicho informe y a la importancia del desarrollo del razonamiento cuantitativo para la biología moderna, se suman los informes de BIO2010: Transforming Undergraduate Biology Education for Future Researchers por el NRC, la American Association for Medical Colleges-Howard Hughes Medical Institute's Scientific Foundations for Future Physicians, y el College Board Advanced Placement Biology Test (NRC, 2003, 2009; Association of American Medical Colleges-Howard Hughes Medical Institute, 2009; College Board, 2012).

Con un plan de estudios articulado, los científicos educados de esta manera, independientemente de su especialidad profesional final, compartirían un lenguaje científico común, facilitando la comprensión y la colaboración interdisciplinar.

Análisis de currículo

A pesar de la atención prestada a la necesidad de articular conocimientos y mejorar la adquisición de competencias en los estudiantes y también su rendimiento académico, muchos cursos de biología permanecen sin cambios. Sin embargo, existen grandes oportunidades para que se inicie la introducción de cursos y planes de estudio innovadores que utilicen mejor los recursos de sus instituciones para preparar a los futuros profesionales para hacer frente a las exigencias de los retos actuales y futuros.

Comprender la logística de diseño curricular existente para la carrera para permitir la conexión de los contenidos por los estudiantes.

El énfasis en la integración es especialmente importante en el nivel introductorio, es decir, en el primer o segundo año de universidad, porque gran parte de

las asignaturas que se imparten en el ciclo superior son de carácter práctico y aplicado. Además, el uso de métodos de pensamiento cuantitativos en la introducción a la biología tiene la ventaja añadida de iniciar a los estudiantes que no continuarán en cursos avanzados de biología a una mejor imagen de la biología moderna como ciencia integrada y analítica (NRC, 2009).

Al articular en el inicio de una carrera puede mostrar a los estudiantes cómo cada disciplina contribuye a la comprensión de los fenómenos de la vida, cómo estos fenómenos ilustran y refuerzan nuestra comprensión cuantitativa de los fenómenos del mundo inanimado y cómo las fronteras entre las disciplinas se están volviendo arbitrarias e irrelevantes. La integración permitirá a los estudiantes aprender los lenguajes de las diferentes disciplinas en su contexto.

El diseño de un programa de este tipo plantea muchos retos. Requiere la participación de los miembros de la comunidad, la toma de decisiones de los gestores y su posterior consenso.

Está claro que debe haber en el inicio una selección de contenidos, y unos de los principales retos a la hora de diseñar un plan de estudios integrado, es identificar cada uno de los conceptos, métodos y hechos que son fundamentales y generalizables. Mientras que los cursos avanzados en las disciplinas individuales pueden reforzar el material tratado brevemente en un curso introductorio, el plan de estudios de ciencias de primer año ofrece una oportunidad especial para cimentar ese desarrollo de competencias transversales y la actitud cuantitativa hacia el mundo natural.

En la actualidad nuestros diseños curriculares son bastantes cerrados y la flexibilización se ve lejana, aunque se podría analizar la obligatoriedad y optatividad de los cursos, como también, la posibilidad del dictado repetido en el año. White y Carpenter

(2008) mostraron que no todos los estudiantes están preparados para empezar con el cálculo al principio de su primer año. En la Universidad Tecnológica de Louisiana el diseño curricular se plantea en bloques que se ofrecen cada trimestre durante el año académico. Por lo tanto, los estudiantes de primer año pueden tomar los cursos de matemáticas necesarios y comenzar el plan de estudios integrado en los trimestres de invierno o primavera, según sea el caso. Diseñaron bloques del plan de estudios de ciencias integrado con un sistema de créditos semestrales para cada curso del bloque. Y otros cursos obligatorios como humanidades, cursos de introducción a la carrera, u otros cursos de ciencias, que quedan fuera de los límites del plan de estudios de ciencias integrado, para completar la carga horaria planteada. Dichos cursos pueden elegirse y algunos repiten su dictado en el año lectivo.

Se podría pensar en facilitar el avance en la carrera con un sistema de correlatividades consistente en que los contenidos necesarios se organicen en forma secuencial y articulada y se realicen evaluaciones conjuntas para acreditar la adquisición de conceptos y competencias.

También podría pensarse en la opción de una matemática integrada a lo largo de todo el currículo, en las distintas materias disciplinares de biología y no como una asignatura independiente.

Incorporación y/o modificación de dinámicas de clase o estrategias de enseñanza-aprendizaje centradas en el estudiante en un currículo integrado.

En el artículo de Feser *et al.* (2013) se describe cómo dos instituciones están ayudando a sus estudiantes de licenciatura en biología a desarrollar competencias cuantitativas. La incorporación de habilidades cuantitativas y razonamiento en biología se enmarcan a través del análisis de dos casos en cursos introductorios a la biología, que

difieren en la complejidad de las matemáticas y el tipo de cambios implicados. Primero, en la Universidad de Maryland-College Park, los módulos de biología MathBench (a través de un servicio de instrucción basado en la web) proporcionan materiales complementarios para ilustrar y desarrollar competencias cuantitativas básicas para biología. El segundo ejemplo, en el Davidson College, dónde se utiliza un texto único para introducir a una amplia gama de estudiantes, incluidos aquellos que no tienen experiencia en cálculo, a los conceptos matemáticos difíciles de la biología. El libro de texto hace hincapié en el aprendizaje a través de la modelización y el análisis de datos, actividades que forman parte del desarrollo de la comprensión de la biología. Por su parte, los resultados de Hester *et al.* (2014) muestran que los estudiantes no tuvieron rendimientos inferiores en la evaluación de conceptos biológicos mientras que los superaron en los ítems de BioMath.

Por otro lado, estos autores mencionan que su enfoque minimiza el tiempo "perdido" al hacer que los estudiantes practiquen las habilidades cuantitativas en el contexto del estudio del material biológico, ya que desafían la suposición de que el tiempo que se pasa "haciendo matemáticas" es tiempo que se pasa sin hacer biología, al exigir a los estudiantes que apliquen las habilidades cuantitativas y los conceptos biológicos para resolver los problemas. Este enfoque es posible, en parte, porque enfatizan habilidades que no son totalmente nuevas para los estudiantes; guiándolos en cómo transferir habilidades de sus cursos de matemáticas requeridos para abordar problemas biológicos. En el ejercicio real de clase, observaron que la resolución de problemas disminuye el tiempo disponible para que el instructor presente el material, sin embargo lo consideran un tiempo bien empleado, ya que se ha demostrado que el aprendizaje activo durante el tiempo de clase aumenta la asistencia a clase de los estudiantes, su rendimiento en el curso y su capacidad para aplicar los conceptos, y disminuir la brecha de rendimiento entre los

estudiantes de mayor y menor rendimiento (Smith et al., 2005; Freeman et al., 2007; Haak et al., 2011).

Al mismo tiempo, en ambos cursos citados se pusieron a disposición muchas herramientas valiosas -desde actividades de acompañamiento en línea ofrecidas junto a los libros de texto hasta conferencias grabadas por el instructor- con el propósito de aumentar y evaluar el aprendizaje de los estudiantes antes de su llegada al aula, con una lógica de clase invertida, haciendo menos necesaria la presentación y explicación prolongada del material en clase y permitiendo el empleo de ese tiempo en el abordaje del problema planteado.

La acción tutorial del docente cobra relevancia y, sin duda, debería considerarse como un punto de partida a la hora de trabajar la integración curricular. La debida capacitación para poder aplicar acciones áulicas innovadoras resulta esencial al igual que generar espacios para el trabajo colaborativo. Sería entonces interesante la mirada de la gestión, con sus consecuentes directivas, en la conformación de los equipos, la organización de los tiempos dentro y fuera del aula, la intervención de los departamentos, la oferta de capacitación, etc, para optimizar los recursos humanos y su trabajo.

En este sentido, White y Carpenter (2008) dan cuenta de que el éxito del proyecto de integración en el plan de estudios dependió en gran medida del profesorado participante, especialmente en las disciplinas de matemáticas y ciencias, mencionando la incidencia de la carga horaria de los docentes con cargos en diferentes facultades y con múltiples responsabilidades, como también la categoría del docente involucrado, en algunos casos participaron docentes auxiliares o instructores de laboratorio, en lugar de profesores titulares o responsables de cátedra, factor que dificultó la integración en

algunos planes como el de la carrera de ingeniería. Así pues, el equilibrio entre cambio sostenible y la creación de un plan de estudios que todos puedan apoyar depende en gran medida de la participación activa del profesorado dedicado y de los administradores que lo apoyen.

Se evidencia que resulta importante también, realizar un relevamiento de la infraestructura necesaria y equipamiento de aulas a la hora de plantear una enseñanza articulada; como también el diseño de materiales integrados. En este sentido Hester *et al.* (2014) comentan que uno de los mayores retos del desarrollo del curso descrito fue la relativa escasez de materiales de clase que permitieran integrar herramientas matemáticas y conceptos de biología molecular y celular.

Conclusiones

La desarticulación entre los cursos de matemática y los de las demás asignaturas se convierte en un cotidiano conflicto para los alumnos.

Esta situación no es ajena a la cátedra de Matemática, para los alumnos de las carreras del Profesorado en Ciencias Biológicas y de la Licenciatura en Ciencias Biológicas de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Tucumán.

Cabe aclarar, que no es tarea sencilla en los primeros años de las carreras mostrar a los alumnos las aplicaciones que ésta tendrá en asignaturas propias de sus carreras, pero se pueden realizar propuestas que articulen conceptos con otras asignaturas básicas de la biología.

Pero también es cierto que la integración de las disciplinas matemática y biología, con inclusión del pensamiento cuantitativo no va en desmedro de la enseñanza de la biología. Las habilidades matemáticas como álgebra y la manipulación de unidades;

escala, exponentes y logaritmos; lectura y creación de gráficos y tablas; y recuento básico y probabilidad, son habilidades que muchos profesores de biología (particularmente los avanzados) suponen que sus estudiantes tienen y pueden aplicar en algún nivel a los problemas biológicos. Estas habilidades y su aplicación "pasan desapercibidas" cuando los profesores piensan en lo que significa aplicar las matemáticas a los problemas biológicos y existe una tendencia verificada (Hester et al., 2014) a pensar en habilidades más sofisticadas, como utilizar ecuaciones diferenciales o interpretar distribuciones de probabilidad. Esperando que los estudiantes puedan aplicar estas habilidades (o al menos seguir su aplicación), los docentes presentan datos gráficos en las clases para apoyar el contenido del curso y piden a los alumnos que calculen y comprendan a ese nivel de complejidad, generalmente bastante lejos de sus posibilidades. El desajuste resultante entre las expectativas de los profesores sobre sus alumnos y las habilidades efectivas que los estudiantes poseen, puede ser inmensamente frustrante tanto para los profesores como para sus alumnos.

Como hemos documentado, con las debidas prácticas articuladas, estrategias de aprendizaje activo, intervenciones de los docentes y la retroalimentación oportuna, los estudiantes podrían aprender a aplicar las habilidades cuantitativas a contextos biológicos.

El enfoque pedagógico y el diseño del curso serían cruciales para integrar las matemáticas en la biología. Empleando técnicas de aprendizaje activo se fomentaría que los estudiantes le den sentido a la información recibida, generen nuevas ideas y relacionen con saberes previos.

En palabras de Hester et al., (2014), los estudiantes necesitan un sentido de relevancia, una práctica extensa y una retroalimentación rápida para desarrollar confianza y competencia en la aplicación de habilidades cuantitativas en contextos biológicos.

Desde la literatura, referir las matemáticas con relación a la biología, permite citar a Ian Stewart (director del instituto de matemáticas de la Universidad de Warwick), quien en su libro “Cartas a una joven matemática” escribe sobre la necesidad de visibilizar las matemáticas subyacentes en todos nuestros entornos cotidianos, incluso en la biología, y menciona:

... tu vida se balancea sobre como una pequeña barca en un enorme océano de matemáticas. Pero apenas se nota. Ocultar las matemáticas hace que nos sintamos cómodos, pero las devalúa. Es una pena. Hace que la gente piense que no son útiles, que no importan, que son sólo juegos intelectuales sin ninguna aplicación verdadera. (p.3)

Aunque lo afirmado por Stewart es relevante y cierto, sería deseable que los docentes se convenzan de la importancia y necesidad de las matemáticas aplicadas a otras ciencias, en particular a las ciencias biológicas, para entonces convencer a sus estudiantes y a la sociedad de que ellas deben ser estudiadas y aprendidas.

La realidad es que los alumnos, más allá de la elección profesional, necesitan de conocimientos sólidos en matemática que le permitan aportar soluciones a problemas que se presentan dentro de sus áreas profesionales y en la vida diaria.

Pensando en que actualmente un biólogo o un profesional de las ciencias naturales puede participar en la constitución de equipos multidisciplinarios para cualquier proyecto que se plantee en nuestra sociedad, se requeriría de un plan de estudios científico

integrado, el cual permitiría a los estudiantes el dominio de un amplio conjunto de habilidades otorgándole la confianza para abordar los fenómenos biológicos de forma cuantitativa y compleja.

Bibliografía

- American Association for the Advancement of Science (2011). *Vision and Change in Undergraduate Biology Education: A Call to Action*, Washington, DC.
- Association of American Medical Colleges–Howard Hughes Medical Institute (2009). *Scientific Foundations for Future Physicians*, Washington, DC: AAMC. www.hhmi.org/grants/pdf/08-209_AAMC-HHMI_report.pdf
- Abdulwahed, M., Jaworski, B. y Crawford, A. R. (2012). *Innovative approaches to teaching mathematics in higher education: a review and critique*. *Nordic Studies in Mathematics Education*, 17(2): 49 - 68.
- Alzate Rodríguez, E. J., Montes Ocampo, J. W. y Escobar Escobar, R. M. (2013). *Diseño de actividades mediante la metodología ABP para la Enseñanza de la Matemática* *Scientia et Technica* Año XVIII, Vol. 18 (3): 542-547. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701 542.
- Apostel, L., Berger, G., Briggs, A. y Michaud, G. (1979). *Interdisciplinarietà. Problemas de la enseñanza y de la investigación en las universidades*. México: Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Enseñanza Superior. (Trad. de Francisco J. Gonzalez). 1975: 423 pp.
- Bain, K. (2006). *Lo que hacen los mejores profesores universitarios*. Traducido por Óscar Barberá. Valencia: Publicaciones de Universidad de Valencia.
- Bermudez, G. (2015). *Los orígenes de la Biología como ciencia. El impacto de las teorías de evolución y las problemáticas asociadas a su enseñanza y aprendizaje*. *La Ciencia Ayer y Hoy. Revista Eureka sobre enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 12(1): 66 – 90.

- Bialek W, Botstein D (2004). *Introductory science and mathematics education for 21st-century biologists*. Science 303, 788–790.
- Bransford, J. D., Brawn, A. L. y Cooking, R. R. (2000). *Cómo aprenden las personas: cerebro, mente, experiencia y escuela*. Whashington DC: Prensa de la Academia Nacional. 3 – 23.
- Bricall, J. M. (2000). *Informe Universidad 2000*. Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas (CRUE). Recuperado de: <http://www.oei.es/oeivirt/bricall.htm>
- Bruner, J. (1972). *Hacia una teoría de la instrucción*. Barcelona. Ed. Uteha.
- Bruner, J. (1997). *La educación, puerta de la cultura*. Madrid: Visor. ISBN: 84 – 7774 -125 – 5.
- Brusilovsky, S. (2001). *Extensión universitaria y democratización. Algunos aportes para pensar la relación*. En A. Chiroleu y otros, *Repensando la Educación Superior*. pp. 77 – 93 (Argentina, UNR).
- Burns, N., Grove, S. (2004). *Investigación en enfermería 3º Edición*. Madrid: Elsevier.
- Calsina, A.; Carrillo, J.; Cuadrado, S. (2018). *Año de la Biología Matemática*. La Gaceta de la RSME 21 (1): 39 – 45.
- Cantoral, R. (1999). *Approccio socioepistemologico alla ricerca in Matematica Educativa: un programma emergente*. La matematica e la sua didattica, 3, 258 – 270.
- Chevallard, Y.; Bosch, M.; Gascón, J. (1997). *Estudiar Matemática. El eslabón perdido entre la enseñanza y el aprendizaje*. Editorial Horsori, Barcelona.
- Chicurel, M. (2000). *Life is a game of numbers*. Nature 411: 151 – 152.

- Camarena, G. P. (1984). *El currículo de matemática en Ingeniería*. Memoria de las Mesas Redondas sobre Definición de Líneas de Investigación en el IPN, México. pág:21-25
- Cohen, J. E. (2004). *Mathematics is Biology's next microscope, only better; Biology is Matematic's next physics, only better*. Plos Biology 2 (12): 2017 – 2023.
- College Board (2012). *AP Biology Quantitative Skills: A Guide for Teachers*, New York: College Board. http://apcentral.collegeboard.com/apc/public/repository/AP_Bio_Quantitative_Skills_Guide_2012.pdf.
- CRES (2008). *Declaración y Plan de acción de la Conferencia Regional de Educación Superior en América Latina y el Caribe*. UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura), IESALC (Instituto Internacional de la UNESCO para la Educación Superior en América Latina y el Caribe). Disponible en: <https://www.uv.mx/cuo/files/2014/06/CRES-2008.pdf>
- Costa, V.; Del Río, L. (2016). *La articulación en la enseñanza*. 1º Jornadas sobre las Prácticas Docentes en la Universidad Pública. Transformaciones actuales y desafíos para los procesos de formación. SAA. UNLP. 149 – 157.
- Cuadrado, M., Ruiz, M. E., y Coca, M (2009). *Participación y rendimiento del estudiante universitario en un proyecto docente interdisciplinar, bilingüe y virtual*. Revista de Educación, 348, pág. 505 – 518.
- De la Rosa, O., Contreras, A. D., Molina, C. y Domingo, M. P. (2002). *El aprendizaje cooperativo y dialógico en la carrera de Educación de la USAD*. Maestría en Formador de formadores e investigación para el cambio educativo. Universitat de Barcelona.

- de León, M.; Gomez Corral, A. (2018). *Las matemáticas de la biología. De la celdad de las abejas a las simetrías de los virus*. Colección Miradas Matemáticas.
- Díaz Barriga, A. (2006). *El enfoque de competencias en la educación. ¿Una alternativa o un disfraz de cambio?* Perfiles educativos, tercera época, año/vol. XXVIII (11). D. F. México 7 – 36.
- Dirección General de Escuelas y Educación (2010). *Articulación: un desafío permanente e indispensable*. Documento de trabajo. Versión preliminar. Educación primaria. Subsecretaría de Educación Dirección Provincial de Educación Primaria. Disponible en:
http://servivio2.abc.gov.ar/lainstitucion/sistemaeducativo/educprimaria/documento_de_trabajo/descargas/anexo_II.pdf
- Donovan, S. y Bransford, JD (2005). *Cómo aprenden los estudiantes: historia, matemáticas y ciencias en el aula*. National Research Council of the National Academics.
- Elichiry, N. (1987). *Importancia de la articulación interdisciplinaria para el desarrollo de metodologías transdisciplinarias* Publicado en Elichiry, Nora (Comp.) El niño y la escuela. Reflexiones sobre lo obvio. Bs. As. Ed. Nueva Visión.
- Feser, J., Vasaly, H. y Herrera, J. (2013). *On the Edge of Mathematics and Biology Integration: Improving Quantitative Skills in Undergraduate Biology Education*. CBE—Life Sciences Education Vol. 12: 124–128.
- Font, A. (2004). *Las líneas maestras del aprendizaje por problemas*. Revista interuniversitaria de Formación del Profesorado. 18(1): 8 - 9

- Fraile, A. (2008). *El aprendizaje cooperativo como metodología para el desarrollo de los ECTS: una experiencia de formación del profesorado de Educación Física*. Revista Fuentes, 8: 1 – 14
- Freeman S, O’Conner E, Parks JW, Cunningham M, Hurley D, Haak D, Dirks C, Wenderoth MP (2007). *Prescribed active learning increases performance in introductory biology*. CBE Life Sci Educ 6, 132–139.
- García, R. (2013). *Investigación interdisciplinaria de sistemas complejos: lecciones del cambio climático*. Interdisciplina, vol. 1, núm. 1, DOI: 10.22201/ceich.24485705e.2013.1.46545
- Garcia, F. y Sabán, C. (coords) (2007). *Un nuevo modelo de formación para el siglo XXI: la enseñanza basada en competencias*. Barcelona. Davinci.
- Gascón, J. (2009). *El problema de la Educación Matemática entre la secundaria y la universidad*. Educacao Matemática Pesquisa. Vol. 11. Núm. 2. 273 – 302.
- Haak DC, HilleRisLambers J, Pitre E, Freeman S (2011). *Increased structure and active learning reduce the achievement gap in introductory biology*. Science 332, 1213–1216.
- Hastings, A.; Palmer, M. A. (2003). *¿A bright future for biologists and mathematicians?* Science 299: 2003 – 2004.
- Hester, S., Buxner, S., Elfring, L. y Nagy, L. (2014). *Integrating Quantitative Thinking into an Introductory Biology Course Improves Students’ Mathematical Reasoning in Biological Contexts*. CBE—Life Sciences Education Vol. 13, 54–64.
- Hoyos, C. (2010). *Un modelo para la investigación documental. Guía teórico-práctica sobre construcción de Estados del Arte con importantes reflexiones sobre la investigación*. Medellín, Señal Editora. 1-67.

- Jiménez, A. (2009). *La enseñanza y el aprendizaje de la biología*. En M.P. Jiménez, Aleixandre, A. Caamaño, A. Oñorbe, E. Pedrinaci y A de Pro (Eds.) Enseñar Ciencias (p: 119 – 146) Barcelona: Graó.
- Johnson, D. W., Johnson, R. T. Y Stanne, M. B. (2000). “Cooperative learning methods: A meta analysis”. Recuperado de: <http://www.co-operation.org/pages/cl-methods.html>
- JOMTIEN (1990). *Declaración Mundial sobre Educación para Todos y Marco de Acción para Satisfacer las Necesidades Básicas de Aprendizaje*. Conferencia Mundial sobre Educación para Todos, Satisfacción de las Necesidades Básicas de Aprendizaje. UNESCO. Jomtien, Tailandia. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000127583_spa
- Jungck, J. R. (1997). *Ten equations that change biology: mathematics in problem – solving biology curricula*. Bioscene 23 (1): 11 – 21.
- Kari, L. (1997). *DNA computing: arrival of biological mathematics*. The mathematical intelligencer 19(2): 9 – 22.
- Lara, A.L. (2004). *La articulación curricular en tiempos de dispersión*. Colección Cuadernos para pensar, hacer y vivir la escuela. Cuaderno N°13. Gobierno de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.igualdadycalidadcba.gov.ar/SIPEC-CBA/documentos/Hacervivirescuela/CUADERNO13.pdf>
- Latorre, ML (2005). *¿Cuáles son las características de las prácticas pedagógicas de profesores chilenos es ejercicio?* Disponible en: <https://repositorio.uahurtado.cl/bitstream/handle/11242/9187/920.pdf?sequence=1&isAllowed=>

- Lazo, M. A. (2011). *La interdisciplinariedad y la integralidad una necesidad de los profesionales de la educación*. Cuaderno de Educación y Desarrollo, 3, N°27 (Mayo 2011) Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/ced/27/malp.htm>
- León, A. (2007) *Qué es la educación*. Educere 11 (39): 595 – 604.
- Leyva, A. L. (2007). *Concepciones teórico – epistémicas sobre interdisciplinariedad*. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos55/concepciones-sobre-interdisciplinariedad/concepciones-sobre-interdisciplinariedad2.shtml>
- Lorenzano, P. (2001). *Sobre la unidad de las ciencias biológicas*. Signos filosóficos, 5: 121 – 131.
- Lorenzano, P. (2002). *Presentación de la concepción científica del mundo: el Círculo de Viena*. Redes, 9 (18): 103 – 149.
- Maris, A. S.; Lucino, C. V. (2007). *Enfoque curricular orientado al desarrollo de competencias en carreras de ingeniería*. Paradigma, 28(1), 87 – 104. Disponible en 13 de enero 2021 de: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1011-22512007000100005&lng=es&tlng=es
- May, R. M. (2004). *Uses and abuses of mathematics in biology*. Science 303 (5659): 790 – 793.
- Mayr, E. (2006). *Por qué es única la biología. Consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica*. Buenos Aires: Katz Editores.
- Monereo, C., Castelló, M. Clariana, M., Palma, M. y Pérez, M. L. (1994). *Estrategias de enseñanza y aprendizaje. Formación del profesorado y aplicación en la escuela*. Editorial Graó. Barcelona.

- Monod, J. (1970). *El azar y la necesidad. Ensayo sobre la filosofía natural de la biología moderna*. Editores Tusques, Barcelona. ISBN: 978-84-9066-212-0
- Mora, J. (2004). *La necesidad del cambio educativo para la sociedad del conocimiento*. Revista Iberoamericana de Educación. Número 35.
- Mora Guevara, K.A., Cedillo Arce, J.M., Bravo Moreno, J.I., Saltos Arce, M. I. (2018). *La matemática en el contexto de las ciencias*. Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento. Vol. 2 num. 2. ISSN: 2588-073X, 599 - 613
- Morín, E. (1994). *El método III. El conocimiento del conocimiento*. Madrid. Ediciones Cátedra.
- Morín, E. (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. París: Organizaciones de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Morín, E. (2007). *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona: Gedisa.
- Morín, E. (2011). *Sobre la interdisciplinariedad*. Publicaciones Icesi 62: 9 – 15. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10906/2562>
- Moscato, R. (2006). *La articulación, un problema de la escuela*. 1º Jornadas de Instituciones Educativas de Prosed. Recuperado de: www.uca.edu.ar/esp/sec-fpsicologia/esp/docs-prosed/ijornada/documentos/moscato.pdf
- National Research Council (NRC) (2003). *BIO2010: Transforming Undergraduate Education for Future Research Biologists*, Washington DC: National Academies Press. www.nap.edu/catalog.php?record_id=10497
- NRC (2009). *A New Biology for the 21st Century*, Washington, DC: National Academies Press. www.nap.edu/catalog.php?record_id=12764

- Ormeño, A. (2017). *Uso de las tecnologías digitales en el aprendizaje formal, no formal e informal en estudiantes de la carrera de odontología de la Universidad de los Andes, Santiago, Chile*. Universidad Delaware Barcelona. Recuperado desde Delaware <https://www.educacion.gob.es/teseo/mostrarRef.do?ref=1361697>
- Paez, O. (2011). *Las competencias para el ingreso y para la permanencia en el primer año de las carreras de ingeniería, una mirada integradora desde una actividad profesional*. I Jornada de Enseñanza de la Ingeniería. Libro de resúmenes. JEIN 2011. Facultad Regional Buenos Aires, Sede Campus. Disponible en: <http://sistemas.unla.edu.ar/sistemas/gisi/papers/JEIN-2011-124.pdf>
- Pedraz, A. (2004). *La revisión bibliográfica*. Nure Investigación (2). Disponible en: http://www.fuden.es/formacion_metodologica_detalle.cfm?id_f_metodologica=8
- Pedroza Flores, R. (2006). *La interdisciplinariedad en la universidad*. *Tiempo de Educar*. 7 (13), 69-98. ISSN: 1665-0824. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31171304>
- Pérez, A. I. (coord.) (2005). *Informe sobre la innovación de la docencia en las universidades andaluzas*. Comisión para la Innovación de la docencia en las Universidades Andaluzas (CIDUA). Disponible en: http://www.uhu.es/convergencia_europea/documento/metodologia/INFORME-CIDUA-PDF.pdf
- Pérez, J. E.; Pérez, I.; Ojeda, G. (2006). *La enseñanza de las ciencias biológicas en la Universidad*. *Saber* 18(2): 234 – 240.

- Pérez Echeverría, M.P., Pozo, J.I. y Rodríguez, B. (2003). *Concepciones de los estudiantes universitarios sobre el aprendizaje*. En C. Monereo y J.I. Pozo (Eds.), *La universidad ante la nueva cultura educativa: enseñar y aprender para la autonomía*. Barcelona: Síntesis, 33 - 44
- Perrenoud, P. (1999). *Construir competencias desde la escuela*. Santiago (Chile). Dolmen Ediciones.
- Piaget, J. (1979). *Introducción a la epistemología genética*. Buenos Aires: Paidós.
- Pozo, J. I. (2008). *Aprendices y maestros: la psicología cognitiva del aprendizaje*. Ed. Alianza. España. ISBN: 9788420683492
- Pozo, J.I.; Monereo, C. (2009). *Psicología del aprendizaje universitario: la formación en competencias*. Ediciones Morata.
- Quintana, J.M. (1997). *La interdisciplinariedad en Ciencias de la Educación*. En Colectivo de Autores Integración de Saberes e Interdisciplinariedad. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Real Academia Española (2007). *Diccionario de la lengua española*. 22ª ed. Madrid: Espasa Libros.
- Resnik, L. (1987). *Constructivismo y aprendizaje significativo*. Disponible en: <http://www.saladeprofes.cl/se-dice/831-constructivismo-y-el-aprendizaje-significativo.html>
- Richmond, I. (2006). *La mercantilización de la universidad pública argentina: políticas nacionales de articulación de los dos subsistemas de la educación superior*. Revista Española de Educación Comparada. Vol. 12, pp: 407 – 428.

- Rodríguez, M. (2011). *La matemática y su relación con las ciencias como recurso pedagógico*. (S. Canaria, Ed.) Revista Números, 77, 35 – 49. Obtenido de: http://www.sinewton.org/numeros/numeros/77/Articulos_01.pdf
- Rodríguez Tortosa, M. J. (2018). *ABP, una propuesta para la clase de matemáticas* Tesis de Maestría en Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas. Universidad de Almería Escuela Internacional de Máster. Disponible en: http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/7129/TFM_RODRIGUEZ%20TORTOSA,%20MARIA%20JOSE.pdf?sequence=1
- Smith AC, Stewart R, Shields P, Hayes-Klosteridis J, Robinson P, Yuan R (2005). *Introductory biology courses: a framework to support active learning in large enrollment introductory science courses*. Cell Biol Educ 4, 143–156.
- Stewart, I. (2007). *Cartas a una joven matemática*. Editorial Crítica.
- Tedesco, J. (2000). *Educación en la Sociedad del Conocimiento*. Fondo de Cultura Económica, S. A. ISBN: 950 – 557 – 372 - 3
- Trow, M. (1974). *Problemas en la transición de la educación superior de élite a la masiva*. Informe general sobre la Conferencia sobre estructuras futuras de la educación postsecundaria. París: Organización para Cooperación Económica y Desarrollo. 55 - 101
- UNESCO (1998). *Declaración Mundial sobre la Educación Superior en el Siglo XXI: Visión y Acción*. Educación Superior y Sociedad. Vol. 9 N° 2. 97 – 113
- Vargas Hurtado, G. I. (2017). (Compiladora). *Articulación en la Educación en el Tolima: Instituciones Urbanas y Rurales Articuladas con la Educación Superior*. Sello Editorial UNAD. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Bogotá.

Colombia. Disponible en: <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Colombia/ecsah-unad/20201111105306/Articulacion.pdf>

- Vázquez, J.L. (2002) *Matemática, ciencia y tecnología: una relación profunda y duradera*. Encuentros Multidisciplinares, n° 11, mayo – agosto. Disponible en: <http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistan%C2%BA11/Juan%20Luis%20V%C3%A1zquez.pdf>
- Velazco Hernández, J. (2000). *El gen, la forma, el virus y la idea: una perspectiva personal de la biología matemática*. Miscelánea matemática 32: 5 – 38.
- Wall, S. y Shankar, I (2008). *Adventures in transdisciplinary learning*. Studies in Higher Education, 33, n° 5, pág. 551 – 565.
- White, J.D. y Carpenter, J.P. (2008). *Integrating Mathematics into the Introductory Biology Laboratory Course*. PRIMUS, XVIII(1): 22–38. DOI: 10.1080/10511970701753415
- Yanes, J. (2015). *Complejidad y calidad de la educación*. Santiago de Chile. Ediciones Ril.
- Yuni, J. A. y Urbano, C. A. (2006). *Técnicas para investigar. Recursos metodológicos para la preparación de proyectos científicos. Vol 1*. 2da Edición. Córdoba: Brujas.

