



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**RETOS Y OPORTUNIDADES DE CONJUNTAR LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y LA  
ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UNA PROPUESTA  
DIDÁCTICA SOBRE ALGUNOS TEMAS ACTUALES DE BIOQUÍMICA, DIRIGIDA A  
ALUMNOS DE EDUCACIÓN PRE-UNIVERSITARIA**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO**

**PRESENTA**

**Irwing David Vásquez Cerqueda**



**MÉXICO, Ciudad de México    2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Profesora: Giovana Vilma Acosta Gutiérrez  
**VOCAL:** Profesor: Ricardo Manuel Antonia Estrada Ramírez  
**SECRETARIO:** Profesor: Carlos Catana Ramírez  
**1er. SUPLENTE:** Profesor: Juan Cristóbal Mata Sandoval  
**2° SUPLENTE:** Profesor: Luis Felipe Hernández Ayala

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**  
**FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM**

**ASESOR DEL TEMA:**

Ricardo Manuel Antonio Estrada Ramírez

---

**SUSTENTANTE:**

Irwing David Vásquez Cerqueda

---

## Índice

<b>1. Introducción</b>	4
<b>2. Marco de referencia</b>	5
Ciencia, tecnología y educación mexicanas; un breve recorrido histórico	5
Reformas curriculares y su impacto en el aula	9
Educación en ciencias en el país	11
Ubicación del contenido disciplinario de la propuesta didáctica, en los programas oficiales actuales	14
<b>3. Marco teórico</b>	15
Divulgar y enseñar ciencias: áreas que se complementan	15
Materiales educativos	20
Planeación didáctica en la enseñanza de las ciencias	21
Aprendizaje de la química en el nivel preuniversitario	27
Importancia de la Bioquímica. Aprendizaje de contenidos científicos relacionados con el ADN	28
<b>4. Objetivos</b>	31
<b>5. Metodología</b>	31
Estructura de la propuesta didáctica	31
<b>6. Propuesta didáctica</b>	36
<b>7. Reflexión final</b>	69
<b>8. Conclusiones</b>	72
<b>9. Referencias</b>	76

## Introducción

El trabajo científico más allá de ser considerado una posible forma de comprender el mundo que nos rodea es una actividad humana, y por consiguiente se ve influenciado por el contexto social, político, económico y académico en el que se desarrolla; por lo que se deben buscar alternativas didácticas que permitan que el conocimiento científico sea asimilable y que provoque interés tanto de los estudiantes de educación básica, educación media superior, así como de la sociedad en general (Flores, 2012).

Para el caso particular de la educación química, la investigación educativa desarrollada en los últimos 30 años ha puesto de manifiesto que uno de los principales problemas para el aprendizaje de los conceptos químicos, es la construcción de representaciones y nociones con que los estudiantes interpretan y dan significado a los contenidos científicos y a los procesos naturales que perciben (Talanquer, 2018), por lo que es necesario introducir en el aula estrategias didácticas distintas a las tradicionales, en particular para la enseñanza de algunos conceptos químico-biológicos que tienen un alto nivel de abstracción; ejemplo de ello es la estructura, propiedades y funciones del ácido desoxirribonucleico, ADN.

Es por esto que este trabajo pretende diseñar una estrategia didáctica que permita un acercamiento al ADN de manera introductoria, mediante la elaboración de una propuesta didáctica que favorezca la adquisición de un vocabulario básico para el desarrollo de la construcción de un lenguaje científico, mediante la creación y recopilación de materiales de aprendizaje que favorezcan el acercamiento con el ADN.

Una vez que se decidieron los objetivos del presente trabajo, se investigó y desarrolló el marco de referencia y el marco teórico para sistematizar y justificar la propuesta didáctica que pretende conjuntar los procesos de divulgación científica y enseñanza de las ciencias, para posteriormente presentar una reflexión final en torno al proceso realizado y finalizar con la relación de la bibliografía empleada.

## **Marco de referencia**

En este trabajo se contempla la idea de relacionar divulgación científica con enseñanza de las ciencias, específicamente de algunos temas relevantes de bioquímica; de ahí que resulta de interés hacer una mención breve sobre el contexto general en estas áreas.

### **Ciencia, tecnología y educación mexicanas; un breve recorrido histórico**

Los inicios de lo que se llama la época moderna de la ciencia en México, puede encontrarse desde la promulgación de la Ley de Instrucción Pública, decretada por Benito Juárez en 1867, después de la restauración de la República (Chehaibar, Franco, García-Sainz, y Mayer, 2010); con el paso del tiempo, aparecieron instituciones que marcaron la cultura nacional: la Escuela Nacional Preparatoria, el Jardín Botánico, las escuelas de Medicina y de Ingeniería, la Escuela Nacional de Química Industrial, así como los entonces tres nuevos observatorios nacionales: el Meteorológico, el Astronómico y el Central. Estas instituciones nacen vinculadas a un modelo de modernización e industrialización de México, así como a la necesidad de dar respuesta a problemas de índole científico y tecnológico: llevar un registro del clima, contar con una cartografía más precisa del país, desarrollar el conocimiento del universo, así como levantar y fomentar la industria química y petroquímica, por lo que en el inicio de la Escuela Nacional Preparatoria se planteó que las ciencias deberían ser el estudio esencial de los planes de enseñanza y dentro de ellas, las matemáticas como la ciencia fundamental, pues desde la aritmética hasta el cálculo permitirían aprender la deducción. En el plan de estudios de la Escuela Nacional Preparatoria se privilegiaría el estudio sistemático de las ciencias, dejando las asignaturas no científicas dispersas a lo largo de los cinco años. En esencia, la formación humanística quedó relegada del plan de estudios, lo cual se justificaba porque era necesario llenar el vacío entre la enseñanza primaria y la profesional. Por este mismo motivo, la “educación en la Escuela tenía que ser homogénea y enciclopedista lo cual permitiría divulgar la ciencia entre todos los que aspiraban a cultivar bien su espíritu e ingresar a lo selecto de una sociedad” (Zea, 1978).

En 1910 se fundó la Universidad Nacional de México con cinco escuelas (Bellas Artes, Ingeniería, Jurisprudencia, Medicina y la Nacional Preparatoria) y una visión nacional de la educación. Su labor, estuvo orientada al trabajo educativo y de investigación en el país, para convertirse en el semillero de cuadros científicos y de ingenieros que aplicaron sus conocimientos a la realidad nacional.

En 1921 se creó la Secretaría de Educación Pública (SEP).

En 1929 la Universidad Nacional de México obtuvo su autonomía y tomó el nombre de Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

En 1936 se fundó el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y en los años cincuenta se desarrollaron en la UNAM centros de investigación que fomentaron la creación de grupos de científicos en casi todas las áreas del conocimiento.

En 1938 el presidente Lázaro Cárdenas del Río crea Petróleos Mexicanos (PEMEX).

En 1959 fue creada la Academia de la Investigación Científica, hoy Academia Mexicana de Ciencias.

En 1961 se funda el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV).

En 1965 se crea el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).

En 1970 aparece el Centro Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a partir del cual nuestro país desarrolló un sistema de becas de posgrado y 27 centros de investigación y avance tecnológico que, en conjunto con otras instancias públicas y privadas, representan un impulso para la ciencia y tecnología nacional.

En 1971, el proyecto del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) fue aprobado por el Consejo Universitario de la UNAM, durante el rectorado de Pablo González Casanova, quien lo consideró como: "la creación de un motor permanente de innovación de la enseñanza universitaria y nacional, el cual deberá ser complementado con esfuerzos sistemáticos que mejoren a lo largo de todo el proceso educativo, nuestros sistemas de evaluación de lo que enseñamos y de lo

que aprenden los estudiantes" (CCH, 2018). En sus inicios se encuentra haber sido creado para atender una creciente demanda de ingreso a nivel medio superior en la zona metropolitana y al mismo tiempo, para impulsar la transformación académica de la propia Universidad con una nueva perspectiva curricular y nuevos métodos de enseñanza. Las orientaciones del quehacer educativo del CCH se sintetizan en: aprender a aprender, aprender a hacer y aprender a ser.

En 1974 se funda la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).

En 1993 nace la Academia Mexicana de Profesores de Ciencias Naturales (AMPCN) durante la II Conferencia Internacional de Profesores de Ciencias Naturales, con la profesora Ana Isabel León Trueba como presidenta fundadora; en 2014 se llevó a cabo la más reciente convención internacional y nacional de la AMPCN.

En 2002, se crea el Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C. (FCCyT) cuyos miembros han colaborado con el Poder Legislativo, a través del trabajo coordinado con las comisiones de Ciencia y Tecnología del Senado de la República y de la Cámara de Diputados, y otras encargadas de temas como educación, competitividad, presupuesto y administración pública; además, asesora a los Congresos estatales en la actualización de sus marcos normativos en la materia.

En 2015 se crea, con el objetivo de ofrecer soluciones en diversos campos, el Centro de Ciencias de la Complejidad (C3), en el cual se realiza investigación que busca tender puentes entre las ciencias exactas, naturales, sociales y humanísticas; entre teoría, experimentos y simulaciones en computadora, y entre investigación básica y aplicada.

Históricamente, en México se han establecido instituciones que, en el papel, nos generan un sentido de esperanza en relación con el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la educación.

A finales de 2012, el Lic. Enrique Peña Nieto (en ese momento presidente de México) recordó que durante los dos sexenios anteriores el Producto Interno Bruto



(PIB) dedicado a la ciencia, tecnología e innovación no rebasó 0.4% del total; por lo que prometió, mediante un tweet, el 9 de septiembre de 2013:



Figura 1. Tweet editado de la cuenta de Enrique Peña Nieto: @EPN

Además, un poco antes de iniciar su mandato se gestó el llamado Pacto por México, el cual se considera la fase política de las Reformas Estructurales propuestas por Peña, una de ellas la Reforma Educativa. El Pacto contenía una serie de compromisos; por ejemplo (INEE, 2015):

Computadoras portátiles con conectividad	Se instrumentará un programa de dotación de computadoras portátiles con conectividad para todos los alumnos de 5° y 6° de primaria de escuelas públicas promoviendo la alfabetización digital, adecuando los contenidos educativos al uso de tecnología y capacitando al personal docente.
--	--

Tabla 1. Uno de los compromisos en educación contenidos en el Pacto por México (INEE, 2015).

En el transcurso en el que se estaba escribiendo este documento hubo cambio de gobierno federal y, al hacer un recuento de los compromisos cumplidos, resulta que el presupuesto destinado a ciencia, tecnología e innovación sólo alcanzó el 0.43% del PIB en el cierre del gobierno de Peña Nieto y la Estrategia Digital Nacional (2013) en lo relativo a entregar computadoras a los alumnos de 5° y 6° de primaria de escuelas públicas “no se cumplió dada su inviabilidad económica y a que careció de un mecanismo que promoviera la capacitación docente, el soporte técnico, la conectividad, el monitoreo y la evaluación del programa” (Del Valle, 2018).

## **Reformas curriculares y su impacto en el aula**

En 2017, la SEP presentó el nuevo currículo para educación básica y media superior (EMS). Éste retoma la noción de formación integral e insiste en la importancia de aprendizajes relevantes que nutran los distintos ámbitos de la vida de los estudiantes. Se mantiene el enfoque por competencias y, en EMS, el marco curricular común. También “prevalecen las dificultades de los docentes de EMS, para implementar el enfoque por competencias en el aula, por lo que su éxito dependerá de una adecuada formación inicial y continua de éstos” (INEE, 2018).

En las últimas dos reformas curriculares e innovaciones pedagógicas hechas en la educación obligatoria mexicana, derivadas de las recomendaciones que han hecho algunos organismos nacionales e internacionales, en sus fundamentos pedagógicos, se coloca a los estudiantes como los principales actores del proceso educativo y se propone el "aprendan a aprender" (proceso que se presentó como nuevo, innovador, pero que desde 1971 se desarrolla en el CCH de la UNAM), “en tanto la sociedad actual les plantea retos y desafíos en su capacidad para acrecentar sus conocimientos y en la adquisición de nuevas formas de relacionarse e interactuar con ellos” (SEP, 2017).

De la institución educativa y del docente, en respuesta a las reformas curriculares, se espera diseñen experiencias de aprendizaje que permitan a los estudiantes desarrollar habilidades de pensamiento analítico, crítico, creativo o de resolución de problemas, que favorezcan su propia construcción del conocimiento y se orienten hacia la ciencia. En concreto, transitar de una enseñanza tradicional hacia otra más dinámica e incluyente.

Sin embargo, en el caso específico de la enseñanza de las ciencias, en educación básica y media superior, la mayoría de los escenarios educativos no se ha logrado trascender la enseñanza tradicional de las ciencias en la práctica (Torres, 2010).

Desafortunadamente muchos de los cursos y programas se desarrollan con el fin de transmitir conocimientos científicos que los estudiantes tienen que reproducir para obtener una calificación; habrá otros que alcanzan a promover hábitos o técnicas

de estudio, proporcionándoles a los estudiantes un conjunto más o menos completo de destrezas, pero rara vez se les enseña a utilizarlas en los contextos idóneos, reales, inesperados. Como resultado, la generalidad de los estudiantes, en educación básica y media superior, dedica la mayor parte del tiempo a memorizar nombres, datos o eventos, que más tarde deben reproducir con fidelidad pero que terminan olvidando (Pozo, 1993).

Particularmente, los temas de las diferentes materias a desarrollar en el nivel preuniversitario (último año de secundaria y educación media superior) son de naturaleza compleja, pues implican procesos de razonamientos e inferencias que hacen que los estudiantes vayan prescindiendo de sus percepciones individuales inmediatas y concretas (sus ideas previas) para construir y usar esquemas donde la abstracción forma parte del razonamiento, como una de las formas más comunes del proceder de la ciencia (Flores, 2012). En este sentido, la exigencia, de profesores y alumnos, es mayor para el desarrollo de actitudes más relacionadas con la precisión, la objetividad, la flexibilidad, la observación, la inferencia, la deducción, la traducción, la discusión y el manejo de argumentos; “las habilidades de búsqueda e interpretación de datos y conceptos, la participación en equipos, el debate colectivo y el desarrollo de la capacidad crítica” (Lomelí, 1991).

Con todo y estas exigencias que las reformas curriculares en la educación preuniversitaria plantean a los estudiantes, se sigue dando mayor peso a los aprendizajes de tipo memorístico, desconectados de la vida cotidiana, lo que origina que el conocimiento, en muchas ocasiones, carezca de significado para el estudiante (INEE, 2018).

Así que, es necesario repensar aquella idea ingenua según la cual sólo se necesita tener el conocimiento de tipo declarativo en un área específica de la ciencia para su enseñanza, es decir, conocer solamente los hechos, conceptos y principios que la caracterizan, o bien, aquella en donde bastaba con aprender una serie de pasos preestablecidos que deben seguirse de forma lineal y rigurosa para hacer ciencia, han quedado atrás hace mucho tiempo, por lo menos en el discurso formal de lo educativo. Esto lo podemos constatar en los textos de las reformas curriculares

mencionadas anteriormente. Actualmente, y desde el 2008, en los programas oficiales de educación básica secundaria y de educación media superior, se puede encontrar:

“Rasgos del perfil de egreso de la educación secundaria. Exploración y comprensión del mundo natural y social:

Identifica una variedad de fenómenos del mundo natural y social, lee acerca de ellos, se informa en varias fuentes, indaga aplicando principios del escepticismo informado, formula preguntas de complejidad creciente, realiza análisis y experimentos. Sistematiza sus hallazgos, construye respuestas a sus preguntas y emplea modelos para representar los fenómenos. Comprende la relevancia de las ciencias naturales y sociales.” (SEP, 2018)

“Las competencias disciplinares básicas en la reforma integral de la educación media superior, RIEMS, ciencias experimentales: El aprendizaje de física, química, biología y ecología en el nivel medio superior se planteó en la reforma a partir de un conjunto de competencias que, en el análisis de Bloom (Méndez, 2015), se concentran principalmente en las categorías de análisis (categoriza, contrasta, analiza, relaciona), comprensión (explica, predice, expresa) y aplicación (decide, interrelaciona, aplica). Estas categorías hacen sentido para caracterizar a las ciencias experimentales, puesto que combinan el pensamiento de orden superior, el entendimiento de la información y su traslado a contextos de aplicación. Estas categorías pueden identificarse en la medición en dos dimensiones: comprensión de los contenidos, y análisis y cuestionamiento.” (Acuerdo 444, 2008)

### **Educación en ciencias en el país**

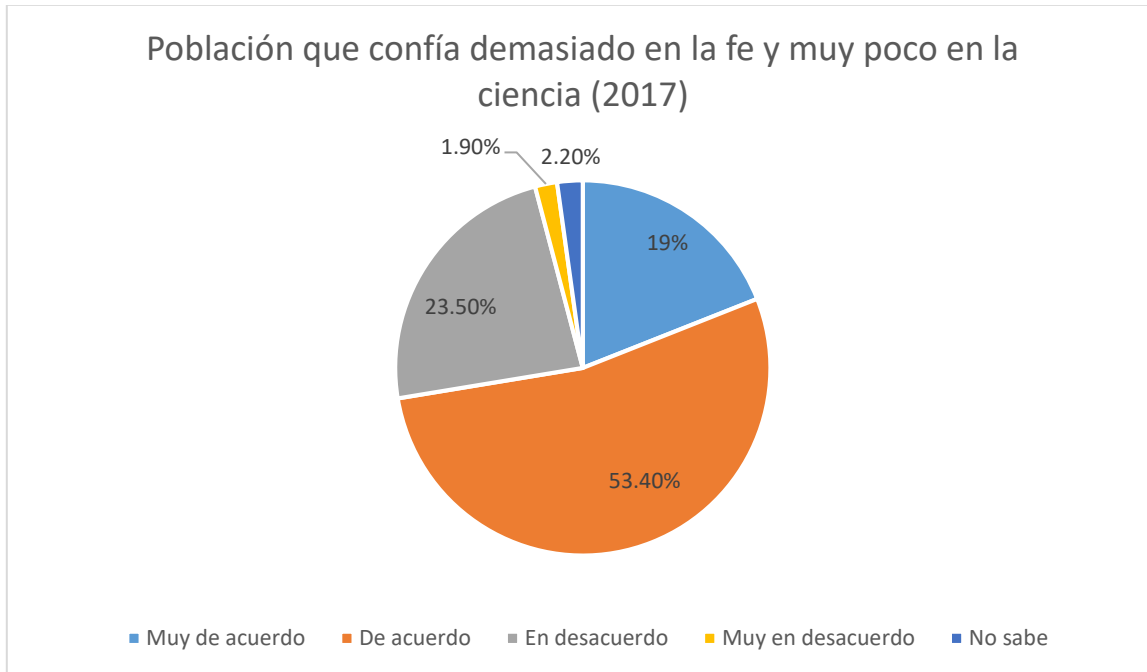
Para el caso particular de la educación preuniversitaria en ciencias, la investigación desarrollada en los últimos 30 años ha puesto de manifiesto que uno de los principales problemas para el aprendizaje de los conceptos científicos, es la construcción de representaciones y nociones con que los estudiantes interpretan y dan significado a los contenidos científicos y a los procesos naturales que perciben (Flores, 2012).

Esta situación se intensifica con diversos indicadores en nuestro país, como el número por habitante de científicos y personas relacionadas con la ciencia (31 por cada 1000 habitantes), la baja producción científica, el escaso número de patentes tecnológicas y, desde luego, los resultados de evaluaciones internacionales en el área de las ciencias, como en el Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos (PISA, por sus siglas en inglés) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, OCDE, cuyos datos nos muestran no sólo un lugar bajo entre los miembros de la OCDE, sino una distancia grande con respecto al promedio (416 puntos con relación a 501 puntos de la media) y un número extraordinariamente pequeño de estudiantes que alcanzan los niveles más altos de desempeño (0.2 para el nivel 5 y 0.0 para el nivel 6) (PISA, 2015).

México es un país “alejado” de la ciencia y la tecnología, no sólo por el porcentaje del PIB asignado a ellas (como se mencionó anteriormente), sino por la percepción que la sociedad mexicana tiene de ellas.

Según la Encuesta Nacional sobre la Percepción Pública de la Ciencia y Tecnología en México (ENPECYT), en el 2017 el 37.4% del total de la población urbana de 18 años y más del país, declaró haber consultado temas relacionados con ciencia y tecnología, independientemente del medio de comunicación utilizado; mientras que el restante 62.6% declaró no haber utilizado los medios de comunicación con ese propósito. Lo anterior indica que entre el 2015 y el 2017, el porcentaje de la población que utilizó los medios de comunicación para allegarse información sobre ciencia y tecnología se redujo en 8.6 puntos porcentuales, al pasar de 46.0 en 2015 al 37.4 por ciento en 2017. Es decir, pese a que hoy día se puede tener mayor accesibilidad a temas científicos; estos distan del interés de la sociedad. “Esto implica no sólo subdesarrollo, sino también una percepción nacional acerca de que la ciencia y la tecnología no forman parte de la cultura y, aunque en el discurso oficial se resalte su potencial para el desarrollo nacional, en una visión íntima de la sociedad mexicana, se piensa que la inversión en estos campos resulta infructuosa” (De la Peña, 1987). Otros datos de la ENPECYT 2017 muestran que la población que declaró estar muy de acuerdo en que se confía demasiado en la fe y muy poco

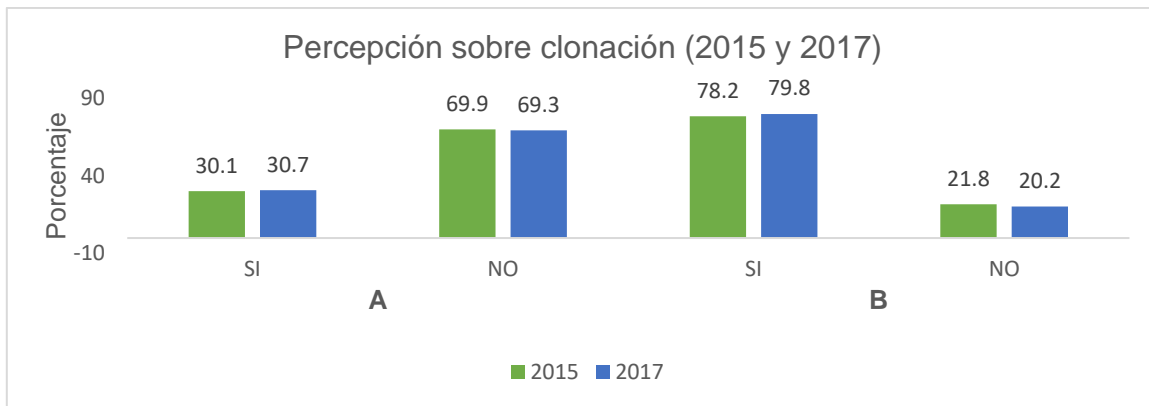
en la ciencia es de 19.0%, los que estuvieron de acuerdo representaron el 53.4%, en desacuerdo el 23.5% y solo el 1.9% de la población respondió estar muy en desacuerdo como se observa en la gráfica 1.



Gráfica 1. Resultados, en la ENPECYT, 2017: percepción sobre fe y ciencia

En relación al área científica que desarrolla este trabajo de tesis, la encuesta muestra que la percepción de la sociedad mexicana respecto de la clonación es que ha oído hablar de esta, el 30.7% estuvo de acuerdo con que se aplique para la reproducción de algunos animales, mientras que el 69.3% restante declaró estar en contra de la clonación.

Por otra parte, el 79.8% estuvo de acuerdo en que se utilice para la reproducción de órganos y tejidos humanos para la realización de trasplantes quirúrgicos. Solo el 20.2% no está de acuerdo con este uso de las técnicas de clonación. Sin embargo, (como se aprecia en la gráfica 2) el rechazo a la clonación de animales (conjunto A) podría estar relacionado con una ideología religiosa que prevalece en el país y por lo tanto el alejamiento del mexicano con las aplicaciones de la ciencia actual. La relevancia de estos datos radica en la importancia y los retos que tiene la educación y divulgación científica en nuestro país; de ahí, uno de los motivos por elegir estos temas para desarrollar una propuesta didáctica, “corazón” de este trabajo.



Gráfica 2. Conjunto **A**: está de acuerdo en que se realice la clonación de algunos animales. Conjunto **B**: Está de acuerdo en que se realice la reproducción de órganos y tejidos humanos por la clonación para realizar trasplantes quirúrgicos.

### Ubicación del contenido disciplinario de la propuesta didáctica, en los programas oficiales actuales

Este proyecto tiene como intención: diseñar una estrategia didáctica que permita un acercamiento al ADN de manera introductoria, el cual es un contenido disciplinario que se puede localizar en los programas oficiales actuales de educación secundaria y media superior (ver tabla 2

Educación secundaria			
Asignatura	Eje	Tema	Aprendizaje esperado
Ciencias y tecnología. Biología. Secundaria. 1°	Diversidad, continuidad y cambio	Continuidad y ciclos	Describe la importancia, funciones y ubicación de los cromosomas, genes y ADN.
Ciencias y tecnología. Química. Secundaria. 3°	Sistemas	Sistemas del cuerpo humano y salud	Identifica componentes químicos importantes (carbohidratos, lípidos, proteínas, ADN) que participan en la estructura y funciones del cuerpo humano.
Educación media superior			
Asignatura	Aprendizajes esperados		
Química	Exponer y ejemplificar la importancia de las macromoléculas naturales y sintéticas. Representar de manera esquemática la estructura de las macromoléculas. Identificar las propiedades y funciones y usos de las macromoléculas naturales y sintéticas. Comprender cómo la estructura de una macromolécula le confiere ciertas propiedades y determina su función. Explicar los tipos de enlaces que permiten la formación de macromoléculas naturales, así como el proceso de su formación.		

Tabla 2. Asignaturas, ejes, temas y aprendizajes esperados, de educación secundaria (SEP, 2017a) y media superior, relacionados con la propuesta didáctica de este trabajo. Fuente: elaboración propia.

## **Marco teórico**

### **Divulgar y enseñar ciencias: áreas que se complementan**

En ocasiones, se emplean los términos educación, divulgación, enseñanza y aprendizaje indistintamente. Para el caso de la divulgación, cabe destacar, que se encuentra en un proceso de construcción (Sánchez, 2012). Es un campo de conocimiento que conjunta saberes de diversas disciplinas como las llamadas ciencias naturales, ciencias exactas y ciencias sociales, así como de las humanidades, la comunicación, la técnica y la tecnología. La evolución de este campo de conocimiento, unido a la multiplicidad de acciones, productos y enfoques para realizarlos, ha dado lugar a una diversidad de términos para referirse a esta actividad. En América Latina, los más comunes son: divulgación de la ciencia, periodismo científico, alfabetización de la ciencia, apropiación social del conocimiento científico, y popularización de la ciencia (Sánchez, 2012). Cada uno de estos términos refleja una mirada diferente para abordar y desarrollar esta actividad. El término más empleado en México es divulgación de la ciencia. Cabe mencionar que en ninguno de los casos existe una definición única (Reynoso, 2013).

Para el caso de educación, existen muchas definiciones de este término, la de Woolfolk (1997) parece particularmente clara y concisa. Esta autora entiende por educación al proceso por el cual la sociedad transmite sus valores, creencias, conocimientos y sistemas simbólicos a todos sus miembros.

Asociado al término educación, ocurren tres procesos, uno, necesario para que ocurra esta transmisión o comunicación, al que llamamos enseñanza, definido como: “la comunicación de elementos que producen transformación y reestructuración interior en el sujeto que funge como destinatario, y aprendizaje como el proceso circular, sistemático, interactivo y dinámico de adquisición asimilativa, motivada y consciente de conocimientos, valores, habilidades y actitudes” (Pedroso, 2000). Otro, llamado aprendizaje, que se refiere a que, al enseñar, se espera que los receptores se queden con algo. Y ambos están relacionados con el proceso de evaluación.



Habría que aclarar que cuando se habla de enseñanza y aprendizaje en general se refiere a aquellos fenómenos que ocurren en la escuela, dentro de lo que se conoce como educación formal, que en otras palabras es la educación organizada, jerárquica, planeada y evaluada, pero, sobre todo, que se encuentra dentro del sistema oficial (De Francisco, 2012). De aquí se concluye que la divulgación si bien puede ser una labor educativa, en tanto comunica el conocimiento científico, sus valores y sistemas simbólicos a los miembros de la sociedad, es distinta a la educación en ciencias, y, por lo tanto; a la enseñanza en ciencias.

Autores como: García (2003), Olmedo (2011), Sánchez (2014) y Mejía (2015), hacen énfasis en que la divulgación científica y la enseñanza de las ciencias: no son equivalentes. Las razones son las siguientes:

- La enseñanza formal de la ciencia requiere que el estudiante aprenda y no sólo que se informe y se interese (objetivos principales de la divulgación científica); la enseñanza formal comúnmente antepone el aprendizaje al interés.
- En la enseñanza formal existe la relación entre institución educativa y estudiante. Lo cual no sucede en la divulgación científica.
- La enseñanza formal es de carácter obligatorio, al menos en la etapa pre-universitaria. La divulgación tiene como responsabilidad fundamental que el público conviva con la ciencia y de ser posible disfrute dicha convivencia, mientras que la escuela tiene como misión el preparar las generaciones futuras de científicos.
- En la enseñanza formal se recurre a mecanismos de evaluación que determinan la aptitud o ineptitud del estudiante. En el caso de la divulgación, no existen este tipo de mecanismos; en el mejor de los casos se podrán obtener índices de interés, satisfacción y utilidad en la percepción del público a quien se dirige.

Tanto en la enseñanza de las ciencias como en la divulgación se presenta el reto de comunicar el trabajo científico como una posible forma de comprender el mundo que nos rodea y como actividad humana.

Sin embargo, Sánchez (1998) advierte que “es raro encontrar a un científico que sea buen comunicador, tenga interés y que dedique su tiempo para divulgar o traducir con claridad el conocimiento generado”. Por lo que se deben buscar alternativas didácticas que permitan que el conocimiento sea asimilable, significativo, y que provoque interés tanto de los estudiantes de educación básica y educación media superior, como de la sociedad en general.

El investigador en comunicación de la ciencia Negrete (2008) expresa que “entre los expertos en educación de la ciencia existe una preocupación porque los alumnos presentan una actitud negativa ante la ciencia por considerarla amenazante, ajena y distante”. Negrete asegura que “la escuela es responsable de ello porque no fomenta la exploración, la reflexión y la comprensión de la ciencia y sus procesos”. Si bien esta aseveración puede ser válida, es indudable que históricamente “el material de apoyo tanto para profesores como estudiantes sólo se centra en los libros de texto; los cuales se han revelado como la principal herramienta de aprendizaje en el aula, tanto en la educación primaria como en secundaria, y que son más escasos los materiales específicos para la educación en ciencias” (Valdez, 2012). Por lo tanto, es relevante la construcción de estrategias de divulgación y enseñanza de las ciencias, lo cual justifica la creación de la propuesta didáctica de este trabajo.

Divulgar la ciencia es acercar ideas científicas relevantes y actuales a la sociedad. No pretende hacernos especialistas en una materia científica, pero si despertar la curiosidad en la naturaleza, comprender la importancia de la ciencia y ser capaces de usarla para interpretar nuestro entorno, y de ser posible, motivarnos a entrar de lleno a uno de estos temas estudiando una carrera científica.

La enseñanza y divulgación de la ciencia se pueden conjuntar para propiciar la cultura científica, puesto que entre más reconozcamos las aportaciones y los métodos de cada una, mejor se podrá planear actividades con los estudiantes. Con ambas se pueden formar en los estudiantes las características de la cultura científica que cualquier individuo debe tener.

La cultura científica debe ser desarrollada con “dosis de curiosidad y razonamiento inculcada en los jóvenes para que la consideren como una herramienta intelectual y les permitan actuar como futuros ciudadanos” (Valdez, 2012). Este proceso de enseñanza debe plantarse estratégicamente en la escuela y, de manera natural, en las clases de ciencias. Enseñar y divulgar la ciencia son actividades complementarias, convergen en un mismo fin que es obtener cultura científica (ver figura 1). Por eso, es importante que cualquier curso de ciencias, además de abordar cómo mejorar nuestros procesos de aprendizaje, también incluya enseñarnos a conocer y utilizar la divulgación científica, considerando lo siguiente:

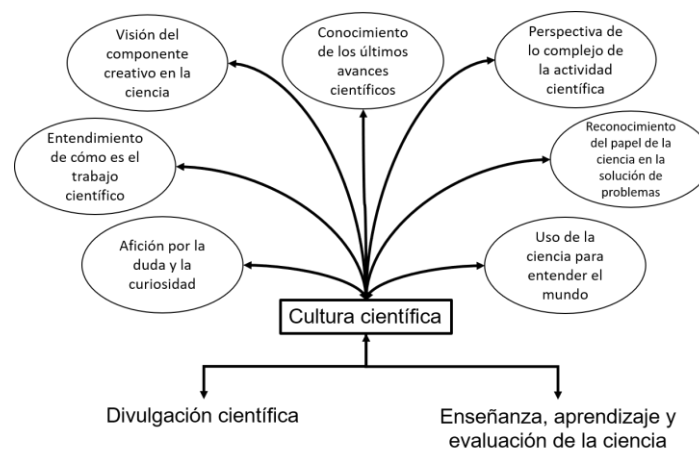


Figura 1. Aportaciones de la divulgación científica y la enseñanza, aprendizaje y evaluación de la ciencia a la cultura científica. Fuente: elaboración propia de una idea de Valdez (2012).

- **Afiición por la duda y la curiosidad.** Repensar que un trabajo práctico genera más preguntas que respuestas en los estudiantes. Lo mismo puede ocurrir cuando se observa un documental o una película bien lograda con tópicos científicos; la divulgación científica puede propiciar en la gente mayor interés en la ciencia.
- **Entendimiento de cómo es el trabajo científico.** En la solución de un problema teórico o experimental, los estudiantes “viven” las etapas y diversidad de la metodología científica, la lógica necesaria, el rigor requerido y la necesidad de expresar adecuadamente sus resultados. Este es un producto de la enseñanza de las ciencias, pero también se puede adquirir con la divulgación científica.

- **Visión del componente creativo en la ciencia.** Se necesita mucha imaginación y creatividad para “ser científico”, esta es una aptitud que se desea tengan los estudiantes, aunque no se dediquen a la ciencia.
- **Conocimiento de los últimos avances científicos.** Es común dar a conocer los recientes descubrimientos de la ciencia a través de publicaciones dirigidas al público en general. Pero también se puede enseñar y aprender “ciencia de vanguardia” con sencillez y rigor, como la ingeniería genética o los métodos de detección de exoplanetas. Existen estrategias didácticas que emplean nuevas tecnologías y datos reales, con esto los estudiantes pueden hacer un análisis de los resultados y esto mejora su comprensión de los recientes hallazgos y logros científicos.
- **Perspectiva de lo complejo de la actividad científica.** La ciencia como la música, la política, o la historia, es una actividad compleja, con dificultades, que requieren esfuerzo, constancia y sacrificios. Un proyecto científico en que los alumnos deban investigar, diseñar, construir y conseguir recursos les dará cuenta del gran trabajo que se tiene que realizar cuando se hace ciencia.
- **Reconocimiento del papel de la ciencia en la solución de problemas.** Esta es una de las características de la cultura científica que se desea reforzar con la enseñanza y la divulgación. Siempre hay que destacar su importancia al ser una fuente que puede proveernos con soluciones a problemáticas como cambio climático, fuentes alternas de energía o contaminación.
- **Uso de la ciencia para entender el mundo.** Conocer los principios básicos de la física, química o biología impedirán que seamos presas de terapias médicas alternativas inconsistentes con el conocimiento científico. De igual manera, la enseñanza y divulgación científica son una excelente herramienta para desenmascarar pseudociencias, ignorar teorías conspiratorias y no pensar que nuestro carácter o destino dependen de la fecha en que nacimos.

Enseñar ciencias de forma contextualizada y relacionada con la vida cotidiana es uno de los retos más desafiantes de esta época. Son muchos los métodos y las

técnicas que los docentes aplican para enseñar esta disciplina, pero “algunas de ellas están muy apegadas a la herencia que nos ha dejado el positivismo, lo cual implica utilizar el llamado método científico como el, supuestamente, único instrumento para llegar al conocimiento científico” (Flores, 2012). En otros casos, la principal forma de enseñarla es, en el papel, como un conjunto de hechos y verdades estables e incuestionables, que el libro de texto contiene, que el profesor, supuestamente, sabe y que el alumno tiene que memorizar, para poder contestar las preguntas a las que es sometido en los exámenes. Esto ocurre, según Núñez (2000), a pesar de la influencia de diferentes corrientes que proponen la utilización de múltiples formas de enseñar las ciencias, en las que se incentiva la realización de experimentos y demostraciones en la clase, observaciones en el campo con la participación de los estudiantes en los procesos de enseñanza y de aprendizaje, con el fin de construir los conocimientos en forma conjunta, contextualizados y ligados a la actividad diaria de las personas.

### **Materiales educativos**

Pueden incluir una amplia lista, la propuesta de este trabajo los sitúa en tres grupos:

- Medios escritos, como los libros de texto, libros para el maestro, manuales y revistas de divulgación (textos de divulgación).
- Materiales experimentales tipo “paquetes didácticos” o de laboratorio tradicional.
- Medios audiovisuales, como videos educativos, videos de divulgación.

En México, los procesos de elaboración de materiales educativos han estado asociados a la implantación de reformas curriculares (Bonilla 2000). El cambio de planes y programas de estudio también ha incluido modificaciones en las metodologías de enseñanza y los materiales educativos se han convertido en el vehículo de difusión de la interpretación curricular que los profesores deben desarrollar en el aula, así como de una especie de validación social de lo que los alumnos de la educación básica y media superior deberán aprender. Por lo que es indispensable crear material educativo que sea de interés del alumno y que no

represente una barrera entre profesor-material educativo-alumno con el fin de lograr “que los cursos se desarrollen vinculados con la realidad y que los estudiantes aprendan lo indicado, para poseer una alfabetización científica que les sirva para la vida” (Valdez, 2012).

### **Planeación didáctica en la enseñanza de las ciencias**

La elaboración de propuestas didácticas (secuencias didácticas y unidades didácticas) constituye una fase más del proceso de planificación y desarrollo del currículo, como tal asume genéricamente las características definitorias del término planificación y por tanto se configura como:

"... Una acción consistente en usar un conjunto de procedimientos a través de los cuales se pretende introducir una mayor racionalidad y organización en un conjunto de actividades y acciones articuladas entre sí que, previstas anticipadamente, tienen el propósito de influir en el curso de determinados acontecimientos, con el fin de alcanzar una situación elegida como deseable, mediante el uso eficiente de medios y recursos..." (Martínez, 1995).

Para Astudillo (2011) la elaboración de secuencias didácticas integradas en procesos de formación es un escenario potente para promover el diálogo genuino entre teoría educativa, pensamiento y acción reflexiva y situada de enseñanza. En este marco, se puede concebir a la secuencia didáctica como una hipótesis de trabajo para la enseñanza de contenidos de ciencia orientada a la promoción de aprendizajes significativos. Su elaboración supone un proceso recursivo de fundamentación, revisión y reescritura desde un enfoque de problematización del conocimiento escolar.

A continuación, se presentan, en orden cronológico, algunas propuestas relevantes, incluso históricas, para estructurar propuestas didácticas para la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación de las ciencias.

Comenzamos la descripción con Sánchez y Valcárcel (1993) los cuales proponen un conjunto de 5 acciones para planear y elaborar propuestas didácticas (ver figura 2); según ellos, “la planificación de una lección está condicionada por una serie de

factores (tipo de contenidos, número de alumnos por aula, experiencias previas del profesor y los alumnos, entre otros) sobre los que no es fácil ponerse de acuerdo si intentáramos jerarquizarlos por lo decisivo de su incidencia. Sin embargo, sí creemos posible establecer una relación de ellos con tres referencias que consciente o inconscientemente tiene cualquier profesor de ciencias: su formación científica, su formación didáctica y su modelo educativo” (Sánchez y Valcárcel, 1993).

OBJETIVOS	PROCEDIMIENTOS
<b>I. ANÁLISIS CIENTÍFICO</b>	
a) La reflexión y actualización científica del profesor	1) Seleccionar los contenidos
b) La estructuración de los contenidos	2) Definir el esquema conceptual
	3) Delimitar procedimientos científicos
	4) Delimitar actitudes científicas
<b>II. ANÁLISIS DIDÁCTICO</b>	
a) La delimitación de los condicionamientos del proceso de E/A: adecuación al alumno	1) Averiguar las ideas previas de los alumnos
	2) Considerar las exigencias cognitivas de los contenidos
	3) Delimitar implicaciones para la enseñanza
<b>III. SELECCIÓN DE OBJETIVOS</b>	
a) La reflexión sobre los potenciales aprendizajes de los alumnos	1) Considerar conjuntamente el AC y el AD
b) El establecimiento de referencias para el proceso de evaluación	2) Delimitar prioridades y jerarquizarlas
<b>IV. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS</b>	
a) La determinación de las estrategias a seguir para el desarrollo del tema	1) Considerar los planteamientos metodológicos para la enseñanza
b) La definición de tareas a realizar por profesor y alumnos	2) Diseñar la secuencia global de enseñanza
	3) Seleccionar actividades de enseñanza
	4) Elaborar materiales de aprendizaje
<b>V. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE EVALUACIÓN</b>	
a) La valoración de la unidad diseñada	1) Delimitar el contenido de la evaluación
b) La valoración del proceso de enseñanza y de los aprendizajes de los alumnos	2) Determinar actividades y momentos del desarrollo del tema
	3) Diseñar instrumentos para la recogida de información

Figura 2. Estructura de unidades didácticas en el área de ciencias experimentales. Editado de Sánchez y Valcárcel, 1993.

Un elemento innovador de esta propuesta histórica es el análisis científico. “El objetivo del análisis científico es doble: la estructuración de los contenidos de enseñanza y la actualización científica del profesor, derivada del proceso de consulta y reflexión sobre el propio conocimiento científico incluido en la propuesta didáctica. La selección del contenido de enseñanza ha de ser coherente con las actuales concepciones sobre la Naturaleza de la Ciencia y dado que la naturaleza de un conocimiento está determinada por su epistemología, debemos atender a lo que caracteriza la investigación científica” (Sánchez y Valcárcel, 1993).

Por su parte, Sanmartí (1996) considera que es importante introducir, en el proceso de enseñanza de las ciencias, actividades que favorezcan que el alumnado explicité qué está aprendiendo, cuáles son los cambios en sus puntos de vista, sus conclusiones, es decir, actividades que promuevan la abstracción de las ideas importantes, formulándolas de forma descontextualizada y general. Desde planteamientos tradicionales, se consideraba que este conocimiento lo debía transmitir el profesorado o el libro de texto. La actividad del alumnado se limitaba a copiar la síntesis del enseñante y memorizarla. En la figura 3 se representan varios tipos de actividades situándolas en función de sus niveles de abstracción y de complejidad, así como algunos momentos didácticos posibles.

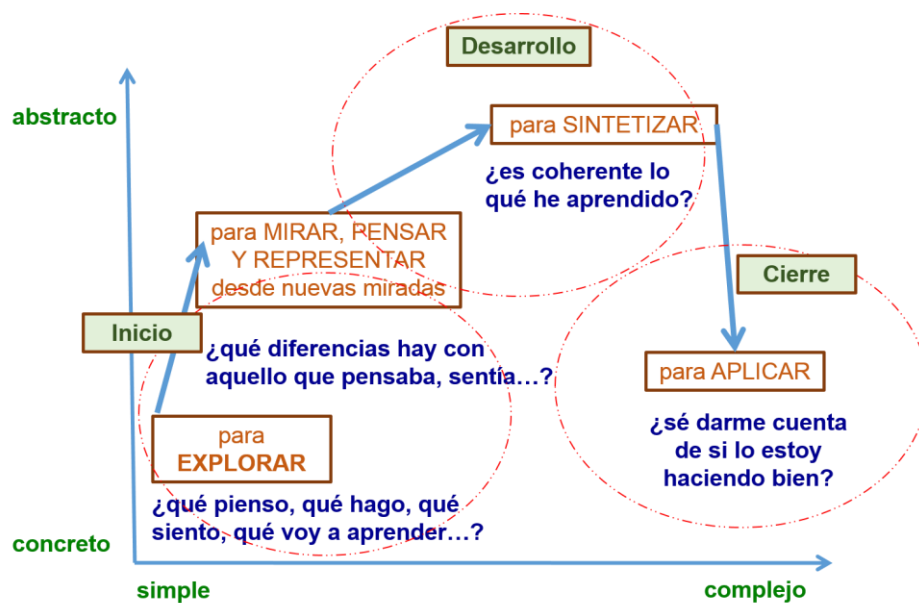


Figura 3. Estructura de actividades, en diferentes momentos e implicaciones. Fuente: editado de Sanmartí, 1996.

Es importante tener en cuenta que esta clasificación no implica que el proceso de enseñanza se reduzca a la aplicación mecanicista de las mismas, en el orden señalado. “Habitualmente, en una misma hora de clase se combinan momentos de actividad con finalidades didácticas variadas y, al mismo tiempo, dichas actividades se pueden considerar que forman parte de un ciclo más general. Tampoco necesariamente deben ser actividades distintas, ya que a menudo una actividad puede tener funciones simultáneas de exploración, de reconocimiento de nuevas variables, etc., según cómo profesor y alumnos reflexionen a partir de ella. Pero su



diferenciación puede ser útil para analizar la calidad del diseño de una propuesta didáctica (secuencia o unidad didáctica)” (Sanmartí, 2000).

Martine y Dimitris (2004) mencionan que las principales consideraciones en el diseño de “secuencias de enseñanza y aprendizaje de las ciencias” se puede representar como un “rombo didáctico” cuyos dos ejes relacionan los 4 vértices.

El eje vertical representa la "dimensión epistemológica" (es decir, cómo funciona la ciencia, su estructura, sus métodos, sus fundamentos y su historia como objeto del análisis epistemológico) y el eje horizontal representa la “dimensión pedagógica” (es decir, la elección sobre las respectivas responsabilidades del maestro y de los alumnos), ver figura 4.

A lo largo del eje epistémico, por ejemplo, encontramos supuestos sobre los métodos de la ciencia, los procesos de elaboración y validación del conocimiento científico que subyace el diseño de la secuencia didáctica. A lo largo del eje pedagógico, encontraremos opciones sobre el papel del profesor, los tipos de interacción entre el profesor y los estudiantes y, cerca del vértice "alumnos", interacciones entre ellos. En el “mundo material”, ubicaremos las concepciones de los estudiantes sobre los fenómenos físicos, sus formas de razonamiento espontáneas más generales están más cercanas al vértice "alumnos". Las actitudes de los estudiantes hacia el conocimiento científico se ubicarán a lo largo del lado del “conocimiento científico”.

Esta representación (figura 4) muestra la organización de las diversas consideraciones involucradas durante el proceso de diseño de una secuencia de enseñanza y aprendizaje de las ciencias e indica la independencia relativa de las dimensiones epistemológicas y pedagógicas. Sin embargo, los autores reconocen que su propuesta adolece de no considerar lo relativo al contexto educativo.

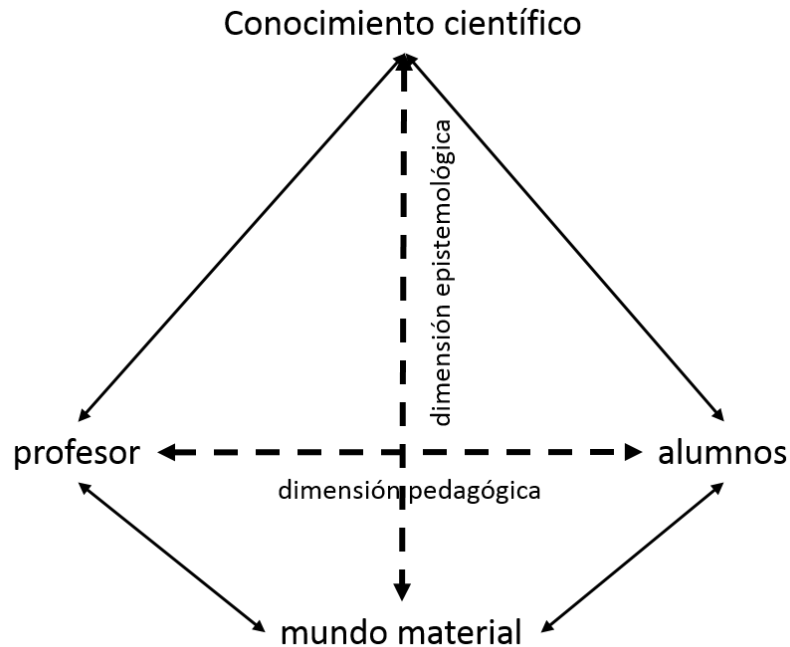


Figura 4. Rombo didáctico. Fuente: editado de Martine y Dimitris, 2004.

Para Doménech, de Pro-Bueno y Solbes (2017) el término más utilizado cuando se quiere planificar una propuesta didáctica (secuencia didáctica o unidad didáctica) o unas actividades de enseñanza es el de “programación”. Ésta es “una técnica pedagógica en la que se declaran objetivos, contenidos, planteamientos metodológicos, actividades, estrategias de evaluación. Si dejamos a un lado el carácter de “exigencia administrativa”, pensamos que la planificación puede ser, ante todo, un proceso de reflexión, de integración de conocimientos y experiencias, de puesta en práctica de creencias y planteamientos, de investigación en la acción y de toma de decisiones sobre una realidad y unos problemas educativos concretos” (Doménech, de Pro-Bueno y Solbes, 2017). En la figura 5 se muestra su modelo que interrelaciona distintos aspectos tanto profesionales como personales e ideológicos del propio docente, basados en su “historia personal y académica” y en sus propias concepciones didácticas.

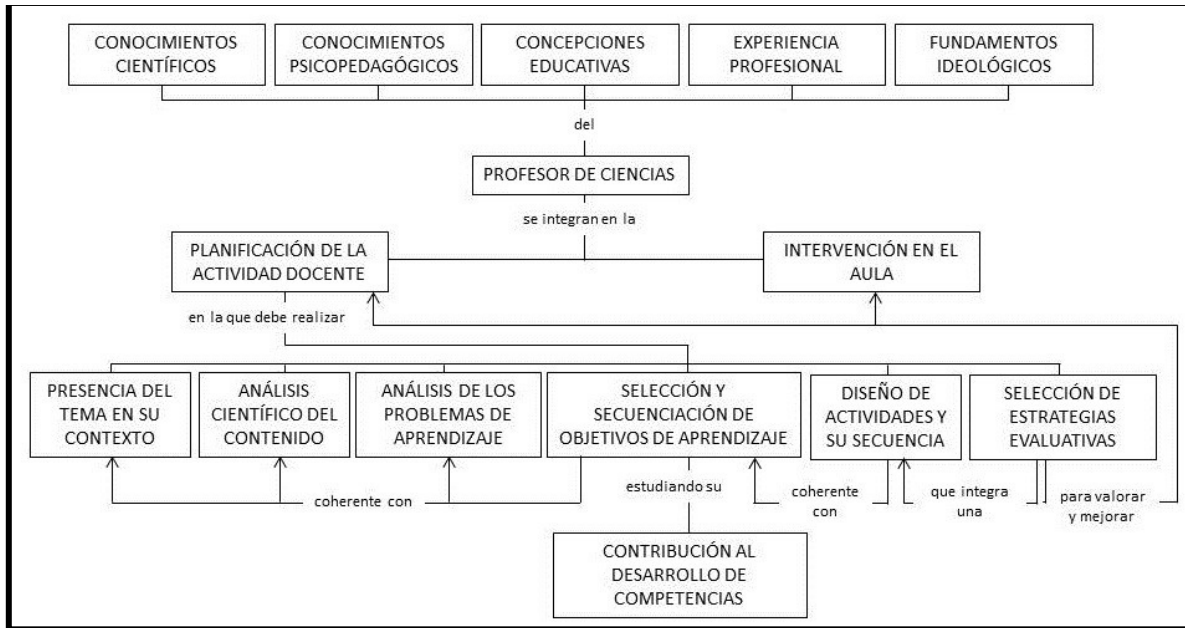


Figura 5. Esquema sobre el proceso de planificación e intervención docente en el aula. Editado de Doménech, de Pro-Bueno y Solbes, 2017.

Los autores mencionados coinciden en que siempre existe una distancia entre cualquier planificación docente y la intervención en el aula, efecto que ocurre en cualquier nivel educativo; pero también están de acuerdo en que la tarea de planificar una propuesta didáctica (secuencia didáctica o unidad didáctica) permite plasmar lo que piensan y saben los docentes e indagar sobre las competencias adquiridas por el autor de la misma.

En concreto, “la preparación de un solo tema de una clase puede llevar horas. No se trata únicamente de pasar la vista someramente por algunos libros de texto que traten el tema al que el profesor va a enfrentarse con los estudiantes, sino de comprender a fondo las múltiples implicaciones que tiene el aprendizaje de dicho contenido” (Doménech, de Pro-Bueno y Solbes, 2017). En el diseño de una propuesta didáctica no tratamos únicamente con aspectos sobre el contenido científico, sino también con el “conocimiento didáctico del contenido” (Mellado, 1996). El profesor es el mediador que transforma el contenido en representaciones comprensibles a los alumnos.

## Aprendizaje de la química en el nivel preuniversitario

Aprender química, sin pretender ser químico, implica aprender un lenguaje, un modo de ver “el mundo de las sustancias (macro) y el mundo de las partículas (micro)”, sus transformaciones químicas y los modelos involucrados. Aprender (y evaluar) la química es aprender (y evaluar) su lenguaje y su lógica; esto es, aprender los conocimientos químicos de modo significativo, contextualizado (Talanquer, 2018). El desarrollo de conceptos científicos se centra en la semántica, “un concepto científico se relaciona con su objeto sólo de un modo mediado, a través de conceptos establecidos previamente, lo cual provoca el desarrollo cognitivo de conceptos espontáneos y el desarrollo semántico del habla” (Vygotsky, 1979). Los conceptos e ideas estudiados en química son abstractos y complejos, debido a esto, se emplean analogías, modelos o interpretaciones más “fáciles” de procesar. La química explora fenómenos a niveles microscópicos, moleculares, atómicos, nanoscópicos, y en esta escala se les puede representar, para su estudio, de una forma simbólica, teniendo como resultado tres formas, planos o niveles de interpretación y representación de los materiales (de los sistemas de estudio) los cuales fueron propuestos por Johnstone (1982):

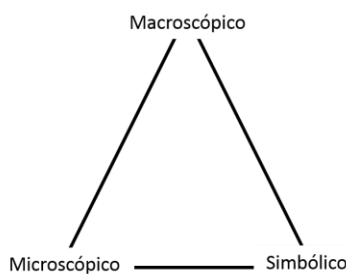


Figura 6. Tres niveles de representación de la química. Editado de: Johnstone, 1982.

Recientemente, Talanquer (2018) agregó a la discusión académica un nuevo triplete, el de los razonamientos químicos de los estudiantes: fenomenológico (basado en conocimiento empírico sobre sustancias y procesos), mecánico (basado en el análisis de los modelos usados en el aprendizaje de la química) y estructural (basado en el análisis de la composición y estructura de entidades químicas).

## **Importancia de la Bioquímica. Aprendizaje de contenidos científicos relacionados con el ADN**

Como reportan algunos autores (Sáiz Serrano, 2013; Prieto, Carrasco & Martínez, 2013;), es necesario introducir en el aula estrategias didácticas distintas a las tradicionales, en particular para la enseñanza de algunos conceptos químicos-biológicos que tienen un alto nivel de abstracción; ejemplo de ello es la estructura, propiedades y funciones del ácido desoxirribonucleico, ADN.

Si bien las nociones del ADN se imparten en la educación formal a partir de la educación media superior, donde Barbarin (2013) menciona que la experiencia con los alumnos ha mostrado que los esquemas de los libros de texto, muchas veces, no son una fuente suficiente para explicar el tema del ADN. Por lo que es difícil para el profesor identificar posibles errores conceptuales de sus alumnos a partir de la evaluación de textos o esquemas en los que el alumno repite lo que leyó en los libros u oyó del profesor. En este contexto, el alumno puede repetir correctamente, pero haber estructurado cognitivamente los conceptos de forma inadecuada. Como resultado de esto en exámenes realizados con alumnos universitarios después del estudio de tópicos de genética han manifestado que éstos no siempre consiguen establecer asociaciones coherentes con el conocimiento científico actual, mostrando la existencia de dificultades en cuanto a la comprensión de las representaciones científicas acerca del tema, con la aparición de los errores conceptuales (Barahona y Cortés, 2008)

Es por lo que Lewis (2004) recomienda que los conocimientos previos con los que cuenta el alumnado constituyen un punto de partida esencial, es decir, un referente para que el aprendizaje se pueda desarrollar. Este aspecto también es considerado por Iñiguez (2005). Por lo que este problema se podría evitar si previamente hay un acercamiento al tema. Además, considerando el plan de estudios de la educación secundaria, se abre la posibilidad de proponer un acercamiento al ADN mediante la divulgación científica, ya que en Ciencias y tecnología I (Biología) se abordan temas de la célula y sus componentes, ubicación de genes, cromosomas y ADN. En Ciencias y tecnología III (Química) el último año de secundaria, se aborda la

identificación de componentes químicos importantes (carbohidratos, lípidos, proteínas y ADN). Por lo que resulta aceptable y en contexto con el plan curricular oficial, la estrategia de divulgación a partir del tercer año de educación secundaria.

La implementación, en este trabajo con: reseñas históricas, infografías, construcción de modelos tridimensionales en la enseñanza de la estructura del ADN, en educación preuniversitaria, son parte de una estrategia que no solo favorece y minimiza el “salto conceptual” para la comprensión de la herencia a nivel macroscópico y microscópico, sino que posibilita el análisis de los protagonistas y situaciones de carácter social, político y económico determinantes en el momento de la deducción de la estructura del ADN. De esta forma se resalta la importancia de un aporte científico que, más allá de ser la descripción de una estructura molecular química, proporcionó la información para comprender las bases de la herencia y transmisión de las características hereditarias, posibilitando el surgimiento de disciplinas científicas como la genética molecular y la biotecnología, con múltiples aportes a la ciencia y que, llevada al aula, favorece la generación de procesos científicos y promueve espacios de análisis y reflexión sobre sus implicaciones científicas y éticas. Analizando el concepto de información biológica como idea central para el contenido cognitivo de la biología molecular, se considera biología molecular a toda investigación y producción de conocimiento en biología que incorpora la idea de la transferencia de la información genética que las macromoléculas de ADN incorporan a otras como las proteínas. En 1957 Crick utilizó por primera ocasión el concepto de “información genética” como la determinación precisa de la secuencia de bases en los ácidos nucleicos y de aminoácidos en las proteínas; en el contexto del “Dogma central de la Biología molecular”.

Sin que haya un registro histórico evidente, entre 1950 y 1953 la mayor parte de la comunidad científica empieza a admitir que el material genético es el ADN, por lo que comienza una nueva ola de experimentos dedicados a conocer su estructura real. A comienzos de los años cincuenta, la química-física Rosalind Elsie Franklin (1920-1958) abrió una línea de investigación en el laboratorio de sir John Turton

Randall (1905-1984), en el King's College, sobre el estudio de la estructura del ADN mediante difracción de rayos X. Así encontró que el ADN podía hallarse en dos formas helicoidales distintas con los fosfatos hacia el exterior (las formas que hoy conocemos con ADN-A y ADN-B) (Claros, 2003).

La clave de la doble hélice del ADN la pusieron el bioquímico-genético americano James Dewey Watson (1928-\*) y el biofísico inglés Francis Harry Compton Crick (1916-\*) —trabajando en la Universidad de Cambridge, en el Reino Unido— mediante la recopilación de los resultados dispersos que sobre ácidos nucleicos existían, así como reuniendo información sin publicar del laboratorio de Randall que había obtenido experimentalmente Rosalind Franklin.

En un breve artículo de 1953 en la revista Nature describen lo que hoy se conoce como ADN-B. La elucidación de la estructura del ADN es uno de los descubrimientos esenciales para la biología molecular y, en general, para la ciencia del siglo XX. Watson, Crick y Wilkins (Franklin había muerto de cáncer de ovario en 1958, a los 37 años) reciben el Nobel en 1962, ya que en el mismo número de la revista Nature habían aparecido el artículo sobre el modelo de Watson y Crick y los resultados cristalográficos que Wilkins, por un lado, y Franklin, por otro, tenían para apoyar el modelo. El Nobel a Watson y Crick fue objeto de controversia, porque se habían limitado a recopilar información de otros, sin aportar nuevos datos.

Así, en los años cincuenta culminaron tres décadas del desarrollo de la biología molecular con la dilucidación de los mecanismos de replicación del ADN y la explicación de su acción en términos de código de información, representaciones en las que yacen los cimientos cognitivos de la ingeniería genética. Este descubrimiento representó el origen de esta disciplina y esas ideas marcaron y siguen influyendo el pensamiento científico sobre qué es la vida, de dónde procede y cómo se controla.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

-Diseñar una estrategia didáctica que fomente un acercamiento a temas actuales relacionados con la bioquímica, ácido desoxirribonucleico (ADN): estructura, antecedentes históricos, importancia, función, aplicaciones, mediante actividades que fomenten su aprendizaje significativo en alumnos de nivel preuniversitario.

### **Objetivos particulares**

-Realizar una investigación bibliográfica sobre las propuestas más relevantes en la elaboración de secuencias didácticas o unidades didácticas.

-Elaborar, organizar y jerarquizar un conjunto de materiales y actividades que favorezcan la adquisición de un vocabulario básico para el desarrollo de un lenguaje científico en temas del área de la bioquímica: ADN.

## **Metodología**

### **Estructura de la propuesta didáctica**

Como se describió anteriormente, el diseño y la elaboración de una propuesta didáctica son procesos recomendados para sistematizar la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, fomentando repensar qué enseñar, cómo hacerlo, para qué, qué recursos se puede usar, cómo y qué evaluar; es decir, establecer una estrategia didáctica.

Por lo que, en este trabajo, se articuló una propuesta didáctica con elementos de las propuestas más relevantes en la elaboración de secuencias didácticas, descritas en el marco teórico, considerando materiales y actividades de divulgación científica; que permitan un acercamiento con el ADN.

La propuesta consta de tres momentos: inicio, desarrollo y cierre, que contemplan la elaboración y recopilación de material educativo, del tipo escrito y experimental. Esto se representa en la figura 7.



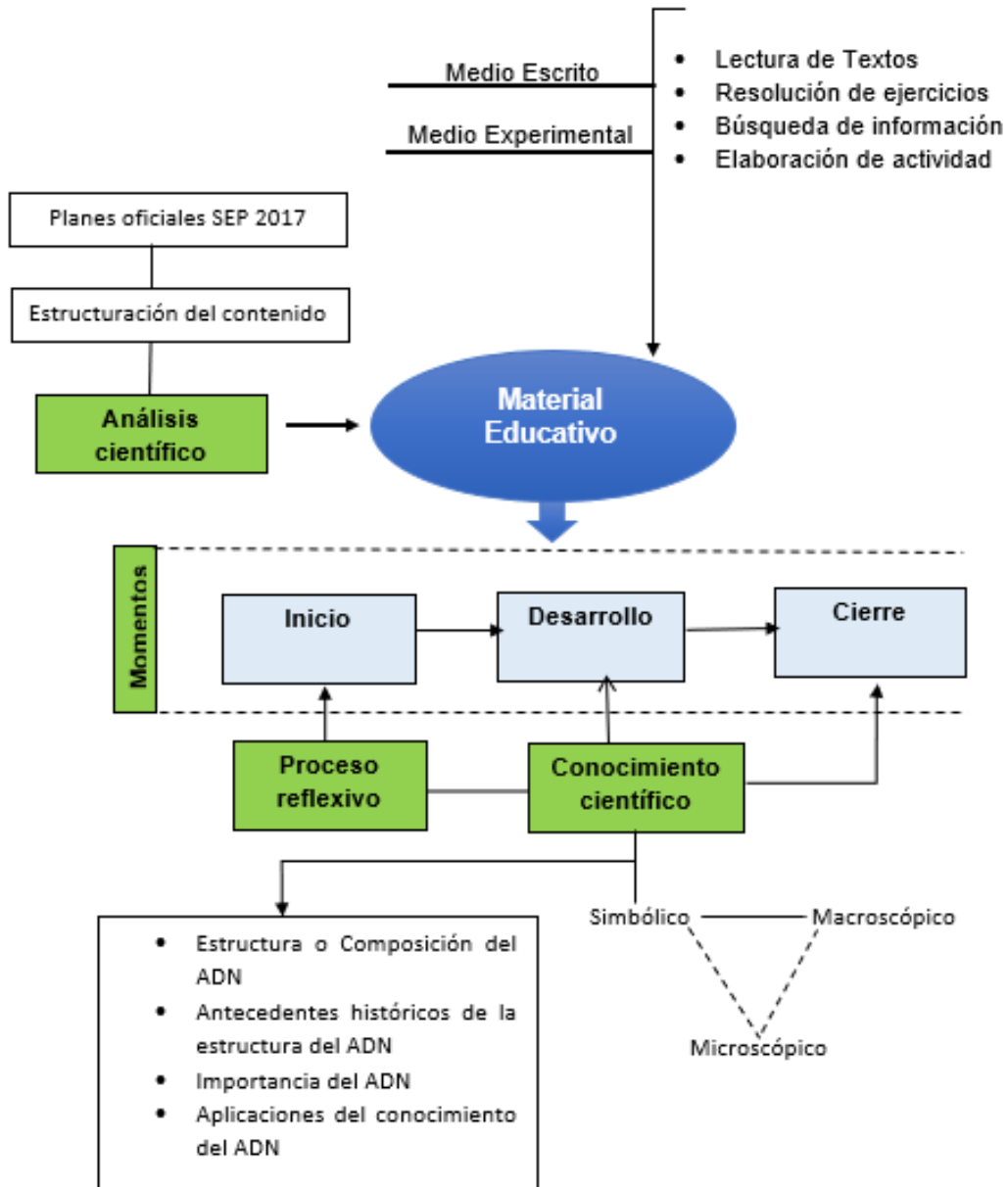


Figura 7. Estructura general de la propuesta didáctica de este trabajo. Fuente: elaboración propia

En la tabla 3 se indica el nombre del material educativo empleado, con el contenido científico abordado y el momento en la cual se ubican.

Material Educativo	Conceptos científicos	Sección
Lectura 1. Alimentos transgénicos	Transgénico	Inicio
Lectura 2. Histórica clonación de un toro Brangus	Clonación de seres vivos	
Lectura 3. Osos polares, los reyes del hielo	ADN: importancia	Desarrollo
Lectura 4. Reseña histórica: la doble hélice del ADN	Antecedentes del modelo de la doble hélice del ADN	
Lectura 5. Texto informativo: las similitudes y las diferencias	ADN: molécula de información genética, estructura, ubicación	
Lectura 6. Texto informativo: pues... ¿de qué estás hecho ADN?	ADN: estructura, composición	
Lectura 7. ¿Cómo investigar a un parásito?	Amibiasis, expresión de proteínas: clonación, plásmido, amplificación y purificación	
-Realiza una infografía -Elaboración de un modelo tridimensional	ADN: estructura, antecedentes históricos, importancia y aplicaciones. Modelo de la doble hélice del ADN	Cierre

Tabla 3. Material educativo y conceptos científico en cada sección. Fuente: elaboración propia.

También, se muestran las actividades que se proponen para cada contenido científico, iniciando estas con preguntas del tipo semiabierto-abierto, para concluir en el momento *Cierre*, con actividades más elaboradas, como lo es la construcción de una infografía mediante herramientas en línea, así como la construcción de un modelo tridimensional. Dicha información se muestra en la tabla 4.

Conceptos científicos	Actividad	Relación
Transgénico	<b>1 y 2</b> Preguntas tipo: semiabiertas y abiertas	Problematización del tema: ADN
Clonación de seres vivos		
ADN: importancia	<b>3</b> Preguntas tipo: semiabiertas y abiertas	Reconocer la importancia del ADN
Antecedentes del modelo de la doble hélice del ADN	<b>4</b> Sopa de letras	Asociar conceptos científicos y personajes involucrados
ADN: Molécula de información genética, estructura, ubicación	<b>5</b> Memorama	Retroalimentación de conceptos: estructura del ADN
ADN: Estructura, composición	<b>6</b> Cuestionario: Completar ejercicios. <b>7</b> Describir figura: Estructura del ADN	Comprensión del texto, estructura del ADN: estructuras-términos químicas Comprensión del texto, estructura del ADN
Amibiasis, expresión de proteínas: clonación, plásmido, amplificación y purificación	<b>8</b> Búsqueda de proteínas recombinantes <b>9</b> Búsqueda de información sobre insulina recombinante	Reconocer aplicación del conocimiento del ADN: interés terapéutico Relacionar la importancia de la aplicación del conocimiento del ADN con enfermedad importante en México
ADN: estructura, antecedentes históricos, importancia y aplicaciones	<b>10.</b> Infografía	Resumen de la importancia, antecedentes, estructura, ubicación del ADN
Modelo de la doble hélice del ADN	<b>11</b> Construcción del modelo de la doble hélice. <b>12</b> Preguntas tipo: semiabiertas y abiertas	Representación física mediante un modelo tridimensional

Tabla 4. Actividades elegidas para cada contenido científico dentro de la propuesta didáctica de este trabajo. Fuente: elaboración propia.

Como parte de la estrategia se propone una serie de iconos para identificar con mayor facilidad el contenido del material educativo, así como de las actividades asociadas a cada material. Como se observa en la tabla 5.









Categoría	Icono	Significado
Nivel educativo		Educación Secundaria 3° año
		Educación Media Superior
Tipo de actividad		Lectura del texto
		Resolver actividad
		Búsqueda de información en la red
		Elaboración de actividad
Recomendación para la realización de la actividad		Actividad individual
		Actividad en equipo/grupo.

Tabla 5. Iconografía de los materiales y actividades empleadas en este trabajo. Imágenes recuperadas y editadas de: <https://mx.depositphotos.com/77351864/stock-illustration>, <https://www.flaticon.es/icono-gratis>

A continuación, se presenta la propuesta didáctica elaborada por el autor de este trabajo:



## Lectura 1. Alimentos Transgénicos.

México no se caracteriza por ser un país que cultive alimentos transgénicos; sin embargo, importa el 50% del maíz para su consumo de países como Estados Unidos, donde es frecuente la modificación genética de alimentos.

Un alimento transgénico se obtiene por la modificación de su material genético, es decir; el ácido desoxirribonucleico (ADN). Esto es por la introducción de algún gen (un segmento de ADN) que provenga de otra especie, como lo son: bacterias, otros vegetales o virus; con el fin de producir una sustancia insecticida que le de resistencia ante plagas o herbicidas. A estos alimentos se les conoce como Organismos Genéticamente Modificados (OGM).

La cultivación de Organismos Genéticamente Modificados también influye en el sector económico, ya que solo las empresas transnacionales (como ejemplo: Monsanto y Syngenta) suelen tener la economía para modificar estos productos. Por lo que los campesinos mexicanos podrían verse relegados.

Otra de las características de estos alimentos es que su crecimiento y maduración es más rápido, uniforme y mejora la presentación del producto.

Aquí te mostramos una lista con 7 alimentos transgénicos que se consumen en nuestro país de acuerdo a Greenpeace, ya que en México no existe una legislación que obligue a las empresas a expresar si sus productos tienen ingredientes genéticamente modificados o no. Además, es importante señalar que no todos los alimentos que contienen estos ingredientes contienen transgénicos.



Figura 1. Representación de distintos Maíces

1. Maíz
2. Jitomate
3. Soya
4. Algodón -en forma de aceite-
5. Canola -en forma de aceite-
6. Alimentos enlatados
7. Leche



**Actividad 1. Con ayuda del texto anterior y el documento:**

*20 Preguntas sobre los alimentos genéticamente modificados por la Organización Mundial de la Salud (OMS)*

Se recomienda el siguiente enlace:

[https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/comunicacion/divulgacion/20questions\\_es.pdf](https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/comunicacion/divulgacion/20questions_es.pdf)

Contesta lo siguiente:

1. ¿Qué otros países aparte de Estados Unidos, han aprobado el cultivo de Maíz transgénico?

---

---

---

2. ¿Cuáles son las características que puede tener el maíz transgénico?

---

---

---

3. Aparte de la lista que se menciona en el texto: alimentos transgénicos, ¿Qué otros alimentos son genéticamente modificados?

---

---

---

---

4. ¿Por qué se producen alimentos genéticamente modificados?

---

---

---

5.-Menciona algunas ventajas y desventajas que consideres acerca de los alimentos transgénicos.

---

---

## Lectura 2. Histórica clonación de un toro Brangus



Se trata de un ternero que nació en Chascomús, Argentina, de nombre Ciruelo; convirtiéndose en el primer toro clonado de la raza Brangus en el mundo. Un clon en este contexto, se refiere a que es la copia idéntica genética, es decir; el mismo ADN de otro ser vivo, y la clonación es el proceso para obtenerlo.

El proceso fue realizado por investigadores de la Universidad de San Martín y el Conicet. El proyecto, que costó unos 150,000 dólares (cerca de 3 millones de pesos mexicanos) financiados por inversores privados.

Los investigadores tomaron muestras de células de la oreja de un macho "campeón" y una vez obtenido el material genético, que se encuentra en el núcleo de la célula; es decir el ácido desoxirribonucleico (ADN), seleccionaron óvulos de vacas para luego "imitar las señales químicas de una gestación natural" mediante un complejo procedimiento científico, señaló el especialista Adrián Mutto, del Instituto de Investigaciones Biotecnológicas de la universidad. "Transferimos 12 embriones producidos por la técnica de transferencia nuclear de células somáticas para posteriormente introducirlos en hembras receptoras sanas en las que finalmente sobrevivió un embrión" detalló en un comunicado del instituto. Después de 280 días de gestación, nació por cesárea el ternero clonado "Ciruelo", con 48 kilos

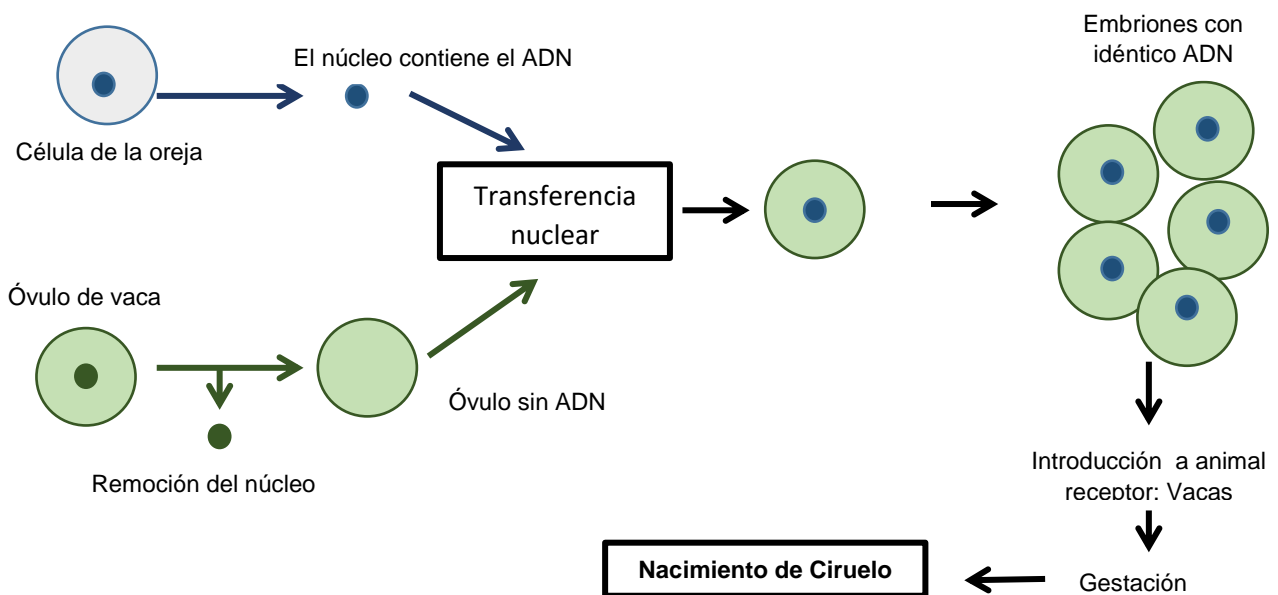


Figura 2. Representación del procedimiento seguido por los investigadores para la obtención de Ciruelo.

Fuente: Elaboración propia

La conveniencia de semejante operación, dice Mutto, es fácil de comprender: si todo sale bien, en lugar de tener un macho de ocho mil dólares (aprox. 154,000 pesos mexicanos) o una hembra que produce 20 embriones por temporada, uno tiene dos de cada uno.

Recuperado y editado de: <https://www.lanacion.com.ar/1147939-clonaron-en-chascomus-un-toro-campeon>



## Actividad 2. Preguntas para reflexionar.



Con ayuda del texto anterior, reflexiona y responde las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es el propósito de clonar animales como Ciruelo?

---

---

---

2. ¿Quién realiza la investigación y quién la financia?

---

---

---

3. Actualmente existen especies en peligro de extinción como: el oso blanco, la tortuga laúd, etc. ¿consideras que la clonación podría ser la solución a la pérdida de biodiversidad y utilizarla como medio para reproducir organismos en vías o en peligro de extinción? ¿Por qué?

---

---

---

---

4. ¿Qué piensas acerca de la creación de un *zoológico clónico*<sup>1</sup> de embriones que conserven a las especies animales actuales?

---

---

---

<sup>1</sup>Información genética de diversos animales





## Lectura 3. OSOS POLARES, LOS REYES DEL HIELO

### Aíslan por primera vez ADN de oso polar de una huella en la nieve

Un equipo de científicos franceses, en colaboración con el Fondo Mundial para la Naturaleza, (WWF por sus siglas en inglés) ha conseguido aislar por primera vez ácido desoxirribonucleico, ADN de oso polar de una huella en la nieve. Los científicos analizaron dos muestras de agua tomadas de las pisadas del plantígrado<sup>1</sup>, recogidas a principios de este año durante la expedición de WWF-Canon y del Instituto Polar Noruego al archipiélago de Svalbard, Noruega. Según Eva Bellemain, líder del equipo investigador, “no solo encontramos el ADN del oso, sino también el de una foca y una gaviota”.

El equipo de WWF que recogió las muestras pudo ver al oso cazando a la foca y, después, cómo varias gaviotas aparecían en el lugar para intentar participar en el festín, así que una sola huella da fe de toda la historia”

En un entorno tan lejano, aislado e inmenso como el Océano Ártico, que además está cambiando a gran velocidad, supone un gran reto mantener información actualizada y precisa sobre las poblaciones de oso polar. En abril de este año, un equipo de WWF-Canon se embarcó con el Instituto Polar Noruego en una expedición científica por el archipiélago de Svalbard, para investigar cómo está afectando el cambio climático a esta región del mundo.



Figura 3. Representación del Oso polar y foca. Tomado de: <https://www.polarbear-world.com/es/>

“Este método sería una herramienta muy útil para la biología de la conservación”, dice Arnaud Lyet, de WWF. “En la actualidad, los científicos usan técnicas muy caras e invasivas para estudiar el estado de las poblaciones salvajes de especies como el oso polar. Tomando ADN de huellas, podríamos reducir notablemente el presupuesto necesario para investigar, con lo que sería más accesible estudiar las poblaciones de fauna”. El equipo espera perfeccionar el análisis del ADN de oso polar para obtener más información sobre el animal. También se trata de descubrir si el método puede aplicarse a otras especies tan esquivas y difíciles de alcanzar como los osos polares.

**<sup>1</sup>Todo aquel animal que apoya completamente la planta del pie para andar.**



**Actividad 3. Preguntas. Con ayuda del texto anterior, reflexiona y responde a las siguientes preguntas:**

1.- Describa, según el artículo, ¿de qué eran las muestras que tomaron los científicos?

---

---

2.- ¿Por qué los científicos se interesaron en el ADN del oso?

---

---

3.- ¿Qué importancia tiene conocer la información genética de estos organismos?

---

---

4.- A partir de lo descrito en el artículo, haga un esquema que represente a partir de la huella, los animales encontrados por medio del análisis del ADN.



## Lectura 4. Reseña histórica: La doble hélice del ADN

Rosalind Elsie Franklin (1920-1958), recordada como “La dama ausente”, nació en Londres, el 25 de julio de 1920. Realizó sus estudios universitarios, en física, química y matemáticas, en el colegio mayor femenino de la Universidad de Cambridge. Antes de trabajar con el Ácido desoxirribonucleico (ADN), Rosalind estudió cristales de carbón y, luego de obtener su doctorado, se especializó en la técnica de difracción de rayos X, en París. Regresó a Londres para trabajar en el King’s College, dirigido por Sir John T. Randall (1905-1984), donde obtuvo la famosa fotografía 51. Junto con ella se encontraba realizando estudios sobre los cristales de ADN Maurice Wilkins (1916-2004), físico neozelandés y especialista en el estudio de los rayos X. Las relaciones entre estos dos científicos se caracterizaban por ser distantes y marcadas por la tensión tanto a nivel personal como laboral, situación que llevó a Rosalind a mantener sus progresos en la investigación al margen de su colega y del laboratorio en el que trabajaban.

Debido a las complejas relaciones entre Franklin y Wilkins en el King’s College, y con el ánimo de liberar tensiones, Randall le pidió a Rosalind, a través de un comunicado displicente y autoritario, que le cediera su trabajo a Maurice Wilkins y abandonara el laboratorio junto con toda la investigación.

Paralelamente a los estudios realizados en el King’s College, James Watson (1928), biólogo y doctor en zoología estadounidense, y Francis Crick (1916-2004), físico, biólogo molecular y neurocientífico británico, desarrollaban estudios –un tanto tímidos– frente a la estructura del ADN en el laboratorio Cavendish, en Cambridge. Watson estaba obsesionado con vencer a su compatriota, el bioquímico Linus Carl Pauling, en la carrera por descifrar la estructura del ADN (Vicente, 2008). Esta situación lleva a Watson y Crick a realizar un estudio apresurado del ADN, proponiendo una estructura de tres hélices con la secuencia de azúcar y fosfato hacia el interior de la molécula y con una conformación de bases nitrogenadas al exterior unidas por iones de magnesio. Dicha estructura fue presentada de manera informal a Rosalind, Wilkins y Raymond Gosling (1926-2015), estudiante investigador asignado a Rosalind, quienes en noviembre de 1951 tenían los suficientes datos para proponer que el ADN era una estructura helicoidal formada por un azúcar y un grupo fosfato que se encontraban en el exterior de la molécula, y que las bases nitrogenadas deberían aparecer al interior. (Guevara Pardo, 2004).

En enero de 1953, y sin el conocimiento de Rosalind Franklin, Wilkins le muestra imprudentemente a James Watson la fotografía 51, obtenida a partir de la difracción de los rayos X de cristales de ADN, bajo unas condiciones especiales de hidratación en las que se evidenciaba que la estructura del ADN obedecía a una doble hélice, situación que no había sido considerada antes y que James Watson y Francis Crick utilizan como pieza clave para proponer la estructura final de la molécula del ADN

El 28 de febrero de 1953, Watson y Crick habían descifrado la estructura del ADN, y se dirigen a su habitual punto de esparcimiento, el pub The Eagle, al que acudían después de las largas jornadas de trabajo, y en un gesto de victoria, Crick exclama la famosa frase "...hemos encontrado el secreto de la vida...". Luego de entablar una reconciliación académica con Rosalind Franklin, los biólogos Watson y Crick envían el manuscrito de su investigación a la revista Nature, y el 25 de abril del mismo año es publicado bajo el nombre de "Molecular Structure of Nucleic Acids" en un artículo de aproximadamente 900 palabras. En la misma revista y publicación aparece un artículo de Wilkins con dos de sus colaboradores, titulado "Molecular Structure of Desoxyribose Nucleic Acids", y otro de Rosalind Franklin y Gosling, bajo el nombre de "Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate", todos sobre la estructura molecular del ADN, confirmando que habían llegado a las mismas conclusiones (Ortiz Hidalgo, 2003)



### Actividad 4. Sopa de letras



En la siguiente sopa de letras se encuentran 10 términos provenientes de la reseña histórica, encuétralos y agrúpalos de acuerdo a lo mencionado más adelante.

A	N	H	E	L	I	C	E	R	R	S	S	R
D	O	B	L	E	D	A	S	R	O	B	A	E
N	R	D	C	S	S	E	R	K	S	A	D	F
F	O	S	F	A	T	O	C	O	N	S	A	D
X	S	W	S	Z	J	I	J	F	I	E	N	E
C	A	S	T	U	R	O	C	I	K	S	E	E
Q	L	O	W	C	P	E	R	A	L	A	G	R
M	I	S	W	A	T	S	O	N	I	M	O	G
A	N	T	O	R	T	O	M	I	W	I	R	O
R	D	Q	U	I	M	E	S	D	R	F	T	T
F	O	T	O	G	R	A	F	I	A	H	I	F
C	I	N	C	U	E	N	T	A	Y	U	N	O

Personajes (cuatro):

---

Conceptos (seis):

---

## Lectura 5. Las similitudes y las diferencias.



En la figura 4, puedes observar tres animales: el tiburón, el delfín y la orca. Los tres son hidrodinámicos, los tres viven en el agua, los tres son vertebrados; sin embargo, el tiburón es un pez, sus ancestros son peces, en tanto que el delfín y la orca son mamíferos que se caracterizan por: tener pelos y producir leche.

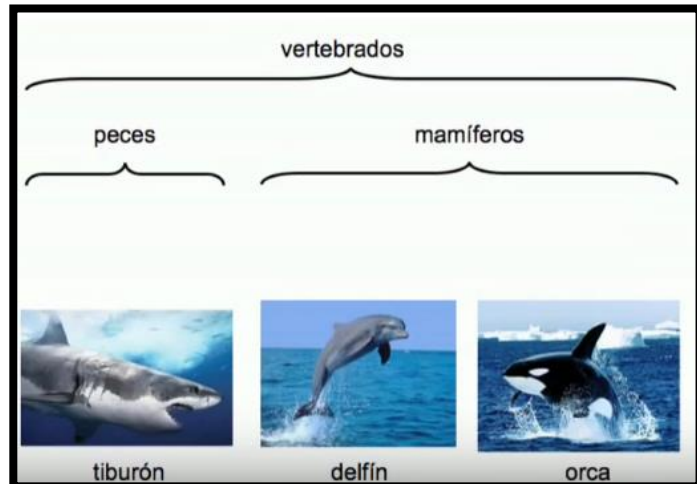


Figura 4. Comparación de animales acuáticos.

Recuperado y editado de: <https://es.kisspng.com/kisspng-lrajsm/>

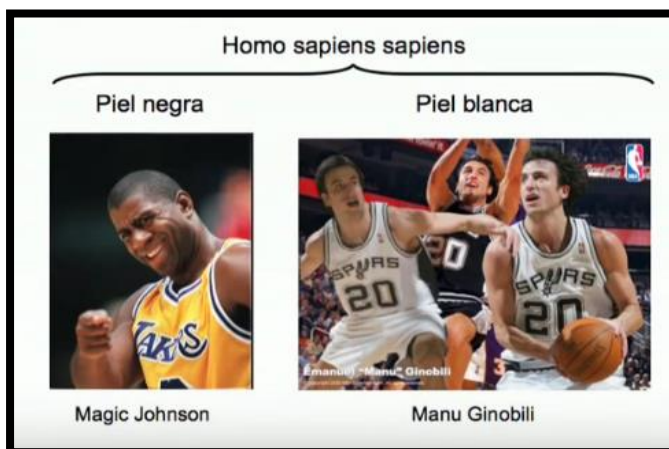


Figura 5. Diferencias entre una misma especie.

Recuperado y editado de:

<https://www.clarin.com/deportes/basquet/manu-ginobili>

En la figura 5 vemos otra comparativa, estos individuos que pertenecen a la especie *Homo sapiens*.

Magic Johnson tiene piel negra y Ginobili piel blanca.

Todas las similitudes y diferencias antes mencionadas, residen en la molécula que contiene la información genética: el ADN (siglas del ácido desoxirribonucleico). Su importancia se debe a que es la encargada de mantener la información genética necesaria para crear un ser vivo similar a aquel del que proviene. Si bien existen

similitudes y diferencias a consecuencia del ADN, también es verdad que hay similitudes que nada tienen que ver con el ADN sino que tienen que ver con el ambiente.

Por ejemplo, el expresidente de México, Enrique Peña Nieto y el excandidato del PRI, José Antonio Meade, los dos pertenecen a la especie *Homo sapiens* (figura 6).

Ahora bien, estos dos individuos son muy parecidos, pero los parecidos no son genéticos, es decir son ambientales, tienen que ver con sus ideologías, con sus deficiencias, con sus virtudes, con cosas que le sucedió durante su experiencia de su vida, con el contexto propio de cada vida.



Figura 6. Similitudes en el ambiente.

Recuperado de:

<https://www.huffingtonpost.com.mx/2018/06/18/->

### ¿Qué es el fenotipo?

El fenotipo es la suma irreversible del genotipo con el ambiente, hay situaciones donde predomina lo genético otras donde lo ambiental predomina y lo podemos resumir de la siguiente manera:

$$\text{FENOTIPO} = \text{GENOTIPO} + \text{AMBIENTE}$$

<b>Aspecto, morfología, fisiología, comportamiento.</b>	<b>ADN</b>	<b>Contexto</b>
---	------------	-----------------

### La estructura del ADN

Es una doble hélice en donde existen moléculas químicas consideradas “letras químicas”, que se llaman bases nitrogenadas, que son las que dan las órdenes para que la célula fabrique proteínas, además de un azúcar (desoxirribosa) y un grupo fosfato. Las bases logran la unión entre cada cadena (en amarillo) debido a que no se unen al azar, sino que la Adenina (A) se une con la Timina (T) y la Citosina (C) con la Guanina (G), como se aprecia en la figura 7

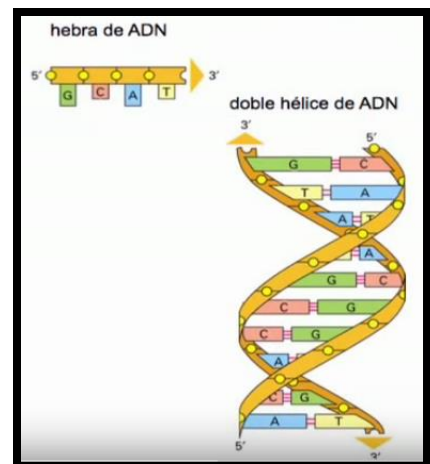


Figura 7. Representación de la estructura del

ADN

La estructura fue descubierta en 1953. Con la colaboración de varios científicos, como Rosalind Franklin, James Watson y Francis Crick. De los tres; Watson aún vive, y este hombre ha sido testigo de los últimos casi 70 años de una revolución no solamente en las ciencias, sino en la industria, en la vida cotidiana, en la sociedad. Porque gracias a su descubrimiento que la información genética está contenida en el ADN, se ha revolucionado muchos aspectos de nuestra vida.

La revolución que Watson sigue presenciando involucra situaciones como: animales transgénicos, vacunas recombinantes, diagnósticos de enfermedades, ingeniería genética, etc.

### ¿En dónde está el ADN?

En la célula se encuentran los cromosomas, en el cromosoma está el ADN, el ADN está dividido en segmentos llamados genes (ver figura 8), los genes son copiados para fabricar otro ácido nucleico que se llama ARN (siglas del ácido ribonucleico), y ese ARN a su vez es copiado para fabricar la proteína, que es el producto final, es la que tiene la función en nuestras células. Las proteínas son como “los trabajadores” de la célula.

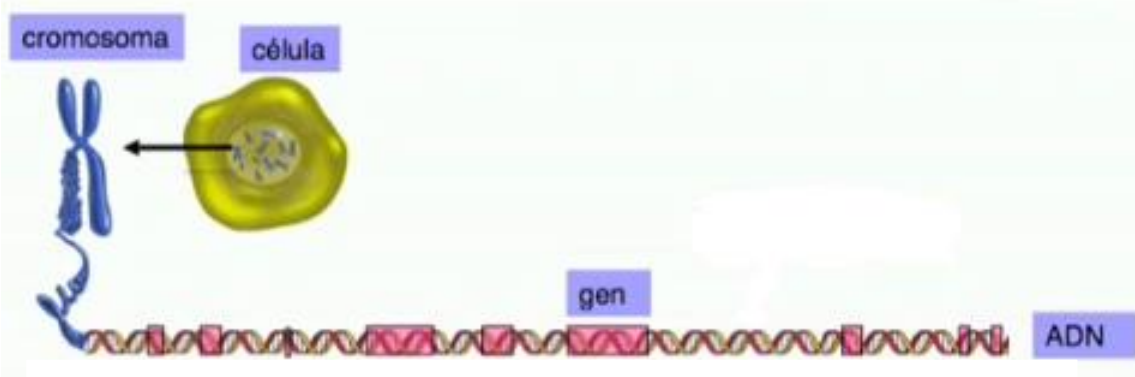


Figura 8. Esquema de la localización del ADN.

Recuperado y editado de: <https://revistageneticamedica.com/blog/cromosomas/>

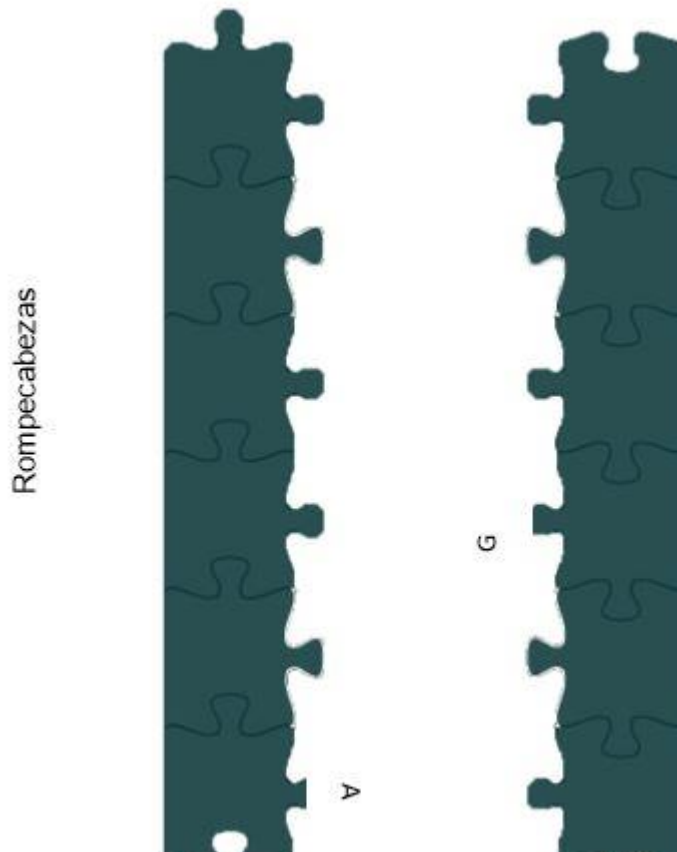




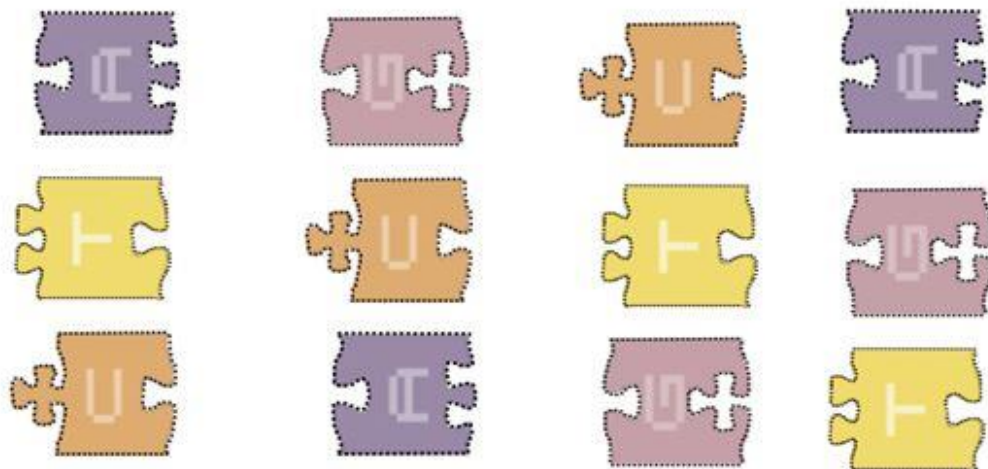
### Actividad 5. Memorama.



Las adeninas (A), citosinas (C), guaninas (G) y timinas (T) son bases nitrogenadas, algo así como el alfabeto que codifica la información de cómo somos. Las bases no se unen al azar, sino que funcionan como un rompecabezas. Recorta las bases y completa el rompecabezas.



Bases nitrogenadas





## Lectura 6. Entonces... ¿de qué estás hecho el ADN?

Los ácidos nucleicos, llamados así porque en un principio fueron localizados en el núcleo celular, son macromoléculas especializadas en el almacenamiento, en la transformación y en el uso de la información hereditaria en los seres vivos. Hay dos tipos de ácidos nucleicos: ADN (ácido desoxirribonucleico) y el ARN (ácido ribonucleico). Ambos están constituidos por unidades de nucleótidos (Figura 9) (Purves et al., 2006).

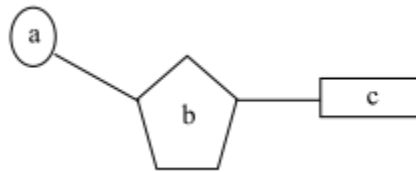


Figura 9. Constitución del Nucleótido. a. Grupo fosfato, b. azúcar (pentosa) y c. base nitrogenada.

Pero vamos por partes primero tenemos que saber qué es una macromolécula, la cual se puede definir como **una molécula de elevada masa molecular, cuya estructura esencialmente comprende la repetición múltiple de unidades.**

Observa la figura 10. En la cual se representa las unidades que se repiten, en este caso la unidad se conforma de 3 elementos c, b y a.



Para el caso del ADN al ser una macromolécula, las unidades que lo conforman, se denominan nucleótidos. Se conforma de un grupo fosfato, el cual le da el carácter de ácido a la molécula del ADN, el cual se puede representar de la siguiente manera:

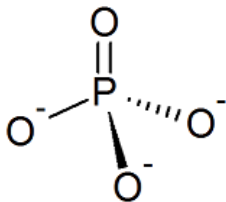


Figura 11. Representación del grupo fosfato

Figura 10. Esquematización de una macromolécula, donde se representa la unidad repetida, compuesta por c,b y a.

El otro componente es un carbohidrato, figura 12. Los carbohidratos son muy conocidos, a muchos de ellos se les llama “azúcares”. Forman una parte importante del alimento que ingerimos, y proporcionan la mayor parte de la energía que mantiene trabajando al motor humano. Para el caso del azúcar que conforma al ADN, se denomina desoxirribosa.

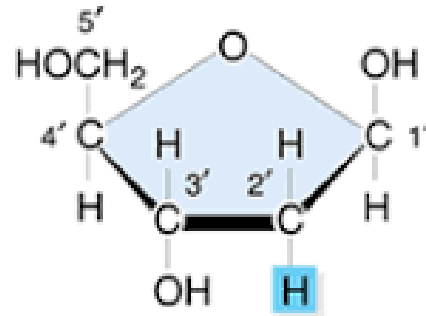


Figura 12. Representación de la estructura del azúcar del ADN

Al ver la figura 12, se observan varias características: 1) El uso de números (1', 2', 3', 4' y 5') los cuales se leen como: “uno prima”, “dos prima” etc. Esta forma proviene de la nomenclatura que se le asigna a este tipo de compuestos. Para este caso la numeración hasta el “cinco prima”, es por la cantidad de carbonos que hay en la molécula.

Otro aspecto importante es: 2) La composición del azúcar es por tres átomos distintos: carbono, oxígeno e hidrógeno. Además: 3) la unión de estos átomos es por medio de enlaces covalentes. Otro aspecto es 4) el hidrógeno resaltado en azul, el nombre de desoxirribosa, es por la posición del carbono “dos prima” el término desoxi- significa: Prefijo que significa la sustitución de un grupo hidroxilo (-OH) por un átomo de hidrógeno.

El último componente son las **bases nitrogenadas**. Las **bases** son compuestos, que incluyen dos o más átomos de nitrógeno, figura 13. Se clasifican principalmente en dos grupos, bases púricas o purinas (derivadas de la estructura de la purina) y bases pirimidínicas (derivadas de la estructura de la pirimidina). La Adenina (A) y la guanina (G) son púricas, y la Timina (T), la Citosina (C) son pirimidínicas. Por comodidad, cada una de las bases se representa por la letra indicada. Las bases A, T, G y C se encuentran en el ADN.

Un punto fundamental es que las bases nitrogenadas son complementarias entre sí, es decir, forman parejas de igual manera que lo harían una llave y su cerradura. La adenina y la timina son complementarias (A, T), al igual que la guanina y la citosina (G, C). La complementariedad de las bases es la clave de la estructura del ADN (Lodish y cols, 2009).

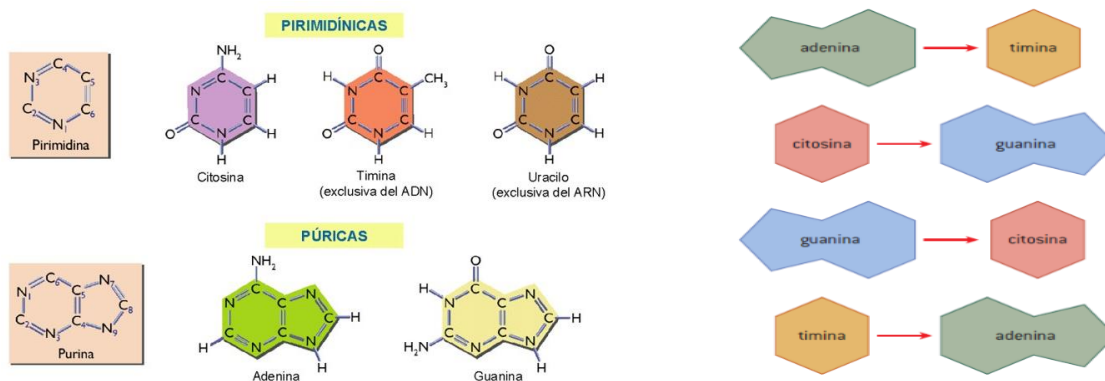


Figura 13. Representación de la estructura del azúcar del ADN. Tomado y editado de: <http://pd4biologia.blogspot.com/2017/06/>



**Actividad 6. Repaso de la estructura del ADN. Considerando el texto anterior, completa la siguiente tabla:**



Tabla 1. Composición del ADN				
ADN	Estructura del fosfato	Nombre del azúcar	Bases nitrogenadas (nombres)	
			Purinas	Pirimidínicas

### Contesta las siguientes preguntas

1.- La unidad básica (un nucleótido) está compuesta a partir de:

- a) Una base nitrogenada unida a un azúcar y que el fosfato también estaba pegado al azúcar
- b) Una base nitrogenada unida a un azúcar
- c) Una base nitrogenada unida a un fosfato y que el azúcar también estaba pegada al fosfato

2.- ¿Cuál de estos azúcares forma parte del ADN?

- a) ribosa
- b) glucosa
- c) desoxirribosa
- d) fructosa

3.- ¿Qué tipo de enlace predomina en la estructura del ADN?

- a) Iónico
- b) Covalente
- c) Metálico

4.- ¿Qué grupo de átomos está en mayor cantidad en la molécula del ADN?

- a) Carbono, Cloro y Oro.
- b) Hidrógeno, Sodio, Carbono y Aluminio
- c) Carbono, Nitrógeno e Hidrógeno.
- d) Nitrógeno, Hidrógeno, Fósforo y Plomo



Actividad 7. Observa detenidamente la figura 14, posteriormente contesta lo que se te pide.

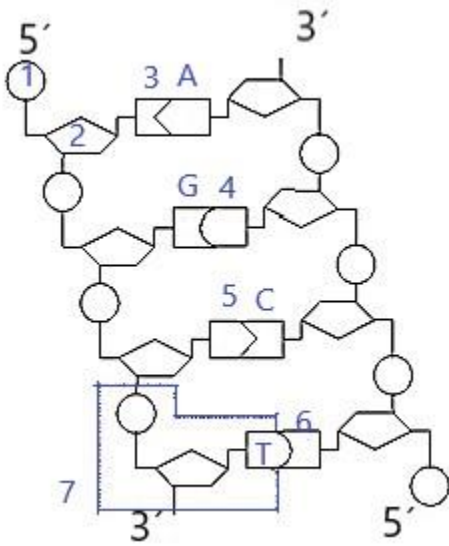


Figura 14. Estructura del ADN

Descripción de la figura:

---

---

---

---

Los números indicados son:

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

4. \_\_\_\_\_

5. \_\_\_\_\_

6. \_\_\_\_\_

7. \_\_\_\_\_ (Área de color azul)



## Lectura 7. ¿Cómo investigar a un parásito?

Seguramente has leído o escuchado alguna vez que “los científicos de la universidad...”, descubrieron algo muy importante o que los “investigadores del instituto...”, dijeron algo bastante interesante, pero ¿dónde están estas universidades e institutos? ¿Cómo le hacen para tener información importante o interesante que debemos conocer todos nosotros?

Comenzaré por decirle que en México existen diversas universidades e institutos que dentro de sus múltiples funciones; se dedican a la investigación, ejemplo de ellos es la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN), la Universidad Autónoma Metropolitana, el Instituto de Biotecnología, el Instituto Nacional de Pediatría; y podríamos seguirle con una lista interminable.

En estas instituciones se busca generar conocimiento de todo tipo. Ejemplo de ello son las enfermedades: ¿Cómo se producen? ¿Quién la origina? ¿Cómo se puede investigar sobre ello? Son recurrentes entre los científicos. El texto se trata sobre una de ellas, la cual ya lleva más de 100 años que se descubrió.

### ¿Qué es la amibiasis?

La amibiasis es definida por la Organización Mundial de la Salud como la infección causada por el parásito *Entamoeba histolytica* o *E. histolytica* con o sin manifestaciones clínicas (WHO, 1986), también llamada amebosis. Este parásito solo infecta al ser humano; se establece en el intestino, donde se puede comportar como un comensal inofensivo o, por el contrario, invadir la mucosa intestinal y causar destrucción del tejido. La amibiasis intestinal puede ser aguda o crónica. Por su parte la amibiasis extra-intestinal es principalmente hepática<sup>1</sup>. En la amibiasis intestinal aguda se presenta diarrea simple con 4 o 5 evacuaciones en 24 horas, diarrea con moco y sangre, en la crónica se presenta estreñimiento que se alterna con cortos periodos de diarrea, leve dolor abdominal tipo cólico además de meteorismo<sup>2</sup> (Ximénez y cols., 2010).

La amibiasis extraintestinal es poco frecuente comparado con la prevalencia de la amibiasis intestinal. En este caso, se cuenta con evidencia con ratones de cómo los trofozoítos migran del intestino hacia otros órganos. Los trofozoítos<sup>3</sup> de *E. histolytica* destruyen células humanas "mordiéndolo" e ingiriendo fragmentos de material celular huésped, lo que se denominado "trogocitosis" amibiana (trogo: mordisquear). Esta trogocitosis se produjo mediante la interacción de trofozoítos con el intestino de ratón, lo que sugiere que este mecanismo juega un papel en el daño intestinal, de aparente relevancia (Ralston. 2015).

<sup>1</sup>Se refiere al Hígado. <sup>2</sup>Molestias relacionadas con la presencia de gas en el intestino, también se conoce como flatulencia. <sup>3</sup>Células móviles de algunos parásitos.



Recuperado y editado de:  
[https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/68\\_1/PDF/amibiasis.pdf](https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/68_1/PDF/amibiasis.pdf)

### Ciclo biológico.

Sin embargo, algo lógico que podríamos pensar es: ¿Cómo es que nos llegamos a enfermar? Para esto tenemos que saber cómo es su ciclo de vida, sin embargo es distinto al ser humano.

*E. histolytica* posee dos etapas en su ciclo de vida: el trofozoíto y el quiste. El trofozoíto es la parte móvil, que se reproduce y la que en realidad ocasiona los daños al huésped, es decir al ser humano.

El quiste es la fase de resistencia y el parásito permanece inmóvil. Se trata de la forma infectante, con estructura esférica u ovoide, hecha de quitina, una molécula que le permite resistir a las condiciones adversas del ambiente y al pH ácido del estómago.

El ciclo biológico lo podemos

definir como las etapas o transformaciones que experimenta una parasito durante su desarrollo. Para el caso de *E. histolytica*, como se menciona anteriormente, se presentan dos formas. A continuación, se presenta, en la figura 15, de manera breve, su ciclo.

**Epidemiología.** El hecho de que se piense que esta enfermedad solo produce diarrea, podría ser un grave error. La amebosis es una enfermedad cosmopolita, es decir puede presentarse en cualquier parte del mundo y, es una de las principales causas de muerte por un parásito. Alrededor de 10 a 20% de la población mundial se considera infectada y 10% de ésta sufre la enfermedad con una letalidad que oscila entre 0.1 y 0.25% (Ali y cols, 2008). Aunque la amibiasis tiene una distribución mundial, países en desarrollo son los que presentan mayor número de casos, particularmente Tailandia, México, Colombia y Bangladesh (Ximénez y cols, 2009).

En México, la amibiasis es una de las veinte principales causas de enfermedad. Algunos laboratorios, principalmente de investigación, cuentan con técnicas moleculares, de

mayor sensibilidad y especificidad como la reacción en cadena de la polimerasa, PCR por sus siglas en inglés, para la identificación de la especie y para detección cuantitativa.

De acuerdo al boletín de epidemiología correspondiente al año 2016 (INEGI, 2016) la amebiasis intestinal se encuentra entre las principales 20 causas de morbilidad (El término morbilidad es un término de uso médico y científico y sirve para señalar la cantidad de personas o individuos considerados enfermos o víctimas de una enfermedad en un espacio y tiempo determinados) siendo la número 15 con 220,205 casos. Además de que los estados con mayor incidencia son: Chiapas, Oaxaca, Estado de México y Guerrero

### ¿Cómo trabajan los científicos este tipo de problemáticas?

A pesar de que *E. histolytica* fue descubierta hace más de 100 años, la amebiasis continúa siendo un grave problema de salud para los países en desarrollo. [La solución al problema consiste en elevar el nivel educativo y dotar de agua limpia y servicios sanitarios a la población.](#) Sin embargo, como esto no es factible en el corto y mediano plazo, una alternativa para erradicar a esta enfermedad es producir conocimiento sobre las moléculas implicadas en el establecimiento de la enfermedad (Olivos y cols, 2011). Usualmente esas moléculas son proteínas, por lo que en laboratorio se busca producirlas para posteriormente estudiarlas a profundidad (Faust y Guillen, 2012). Para estudiar las proteínas, se pueden realizar muchos experimentos, pero primero es necesario obtenerlas y, para ello, es necesario emplear el conocimiento del ADN, ya que el ADN contiene la información necesaria para producir proteínas. Por lo que se explicará el proceso de “expresión y purificación de proteínas recombinantes”, utilizado en varios laboratorios de diversas universidades e institutos.

Este proceso incluye unas palabras científicas como lo son: [plásmido, expresión de proteínas, clonación, reacción en cadena de la polimerasa, amplificación, purificación por cromatografía](#) y aquí le paramos porque la lista puede volverse interminable. Y si no entendiste nada de lo anterior, no sufras mucho: ningún investigador nació sabiendo esto, y tampoco tenían idea de lo que significaban cada una de esas palabras. Con ayuda de los compañeros de laboratorio, clases, libros y demás, se puede comprender este nuevo vocabulario.

Si usted, estimado lector, quisiera hacer que una proteína “se exprese”, no debe de torturarla, ni invitarle un café, solamente necesita seguir una serie de pasos como los que siguen diversos investigadores y estudiantes.

### Proteína favorita

Primero hay que seleccionar la proteína con la que se va a trabajar ya que hay proteínas por montones (ver figura 16, panel 1). Para el caso de la amebiasis, la elegida fue la enzima (macromolécula) que se llama Fosfolipasa C, que se cree importante para que *E. histolytica* infecte al ser humano.



Después de haber elegido la proteína, hay que pasar del “lenguaje de la proteína”, que son los aminoácidos, al “lenguaje del ADN”, que son los nucleótidos (panel 2), para quedarnos con la secuencia de ADN de la Fosfolipasa C (protagonista principal de esta “aventura”). Esto lo puede lograr fácilmente con la ayuda de una computadora y algo de trabajo en internet, existen bases de datos disponibles para que cualquier persona consulte la secuencia de diversos organismos. Esta secuencia de ADN será el molde para obtener miles de copias de ella misma siguiendo un complejo proceso que los científicos denominan PCR (siglas en inglés de reacción en cadena de la polimerasa, panel 3), que también es el terror de chicos y grandes, estudiantes e investigadores.

Posteriormente, ha llegado la hora del corte y la confección de un segmento de ADN: el plásmido<sup>4</sup>, un objeto bastante parecido a un aro de hula-hula microscópico. Con ayuda de unas *enzimas de restricción*<sup>5</sup> (que cortan el ADN en lugares muy específicos), haremos los cortes necesarios para insertar una (y solamente una) copia del fragmento de ADN, para después usar una enzima llamada ligasa que se hará cargo de volver a unir el ADN (panel 4). Este nuevo plásmido contiene todos los elementos necesarios para convertir a una bacteria en una fábrica de Fosfolipasa C o de la proteína de su elección. Asegúrese de diferenciarla de las otras proteínas de la bacteria.

Una opción es unirle varias moléculas del aminoácido llamado histidina (etiqueta de histidinas), lo que, como se verá más tarde, facilita el trabajo.

### Granja de bacterias

Ahora es momento de instalar “la granja”, pero no será de vacas o gallinas sino de bacterias. Seleccione un microorganismo. La recomendación es *E. coli* por una bacteria muy estudiada por los científicos. Tome unas cuantas bacterias, deles unos choques eléctricos para que se les formen hoyitos en sus membranas y dejen pasar a su interior al plásmido que describí en el párrafo anterior (panel 5). Después de esta “breve tortura”, ahora debe de alimentar y cuidar a sus bacterias hasta que se conviertan en miles de miles de ellas (panel 6), algo que comúnmente sucede en una noche.

Enseguida coseche sus bacterias (panel 7) y rómpalas (panel 8) en pedazos para que la enzima Fosfolipasa C salga de ellas. Hasta aquí, usted ha conseguido que su proteína elegida se exprese, pero seguramente en sus manos tendrá un matraz que contenga a ésta, pero también muchos restos de bacterias y otro tipo de “basura”.

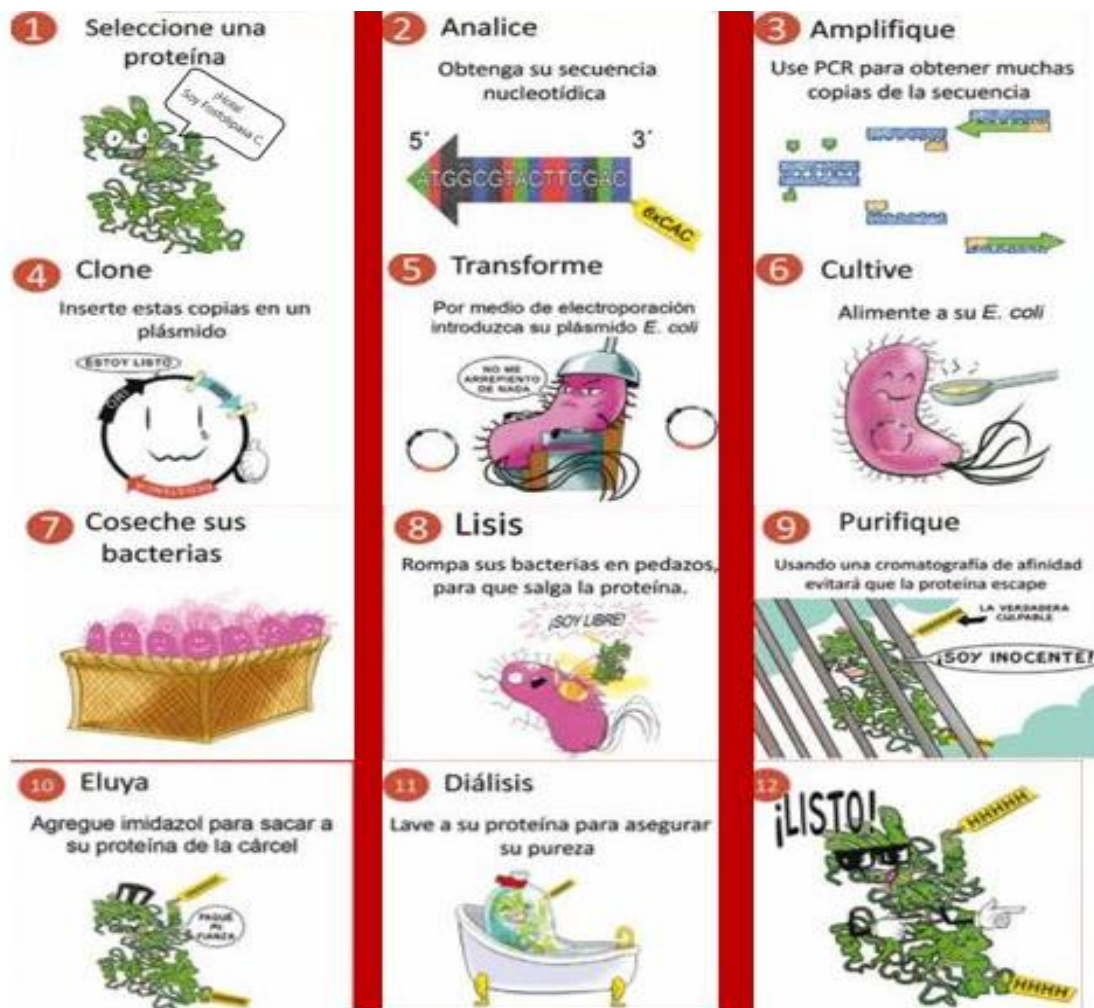
### La purificación

Luego es necesario comenzar con la purificación (panel 9), que le permitirá quedarse solamente con la proteína elegida (y deshacerse de todo tipo de basura).

<sup>4</sup>Segmento de ADN en forma circular, extranuclear. <sup>5</sup> Proteínas capaces de romper enlaces de forma específica en el ADN.

Para purificar se puede usar una técnica llamada “cromatografía de afinidad”, que funciona como una “pequeña cárcel” que atrapa a todas las proteínas que lleven la siguiente infracción: la etiqueta de histidinas. Para sacar a la enzima fosfolipasa C de su prisión, sólo se tiene que “pagar la fianza”: una disolución con imidazol<sup>6</sup>, que desplaza de la cárcel a su tan deseada proteína (panel 10). Por último, debe lavar a la proteína: la “lavadora” es una bolsita de diálisis<sup>7</sup> (una bolsa que deja pasar moléculas pequeñas y retiene las muy grandes como la proteína) y debe entonces ponerla a nadar en una disolución que le quitará “la basurita” que pudo haber recogido durante su confinamiento en “la cárcel” (panel 11).

¡Listo! Logró la expresión y purificación de una proteína que puede utilizar para muchas cosas: impresionar a su jefe y conocidos, realizar pruebas de actividad o estabilidad (panel 12), o quien sabe, tal vez erradicar/tratar una enfermedad de más de 100 años...



Recuperado y editado <https://paciencia parahacer ciencia.wordpress.com>

Figura 16. Expresión y purificación de proteínas

<sup>6</sup>Sustancia que permite remover proteínas de una columna. <sup>7</sup>Técnica que permite separar por tamaño, moléculas en una disolución.



**Actividad 8.** En la siguiente tabla se indican algunas proteínas recombinantes que se obtiene de manera similar al texto: ¿Cómo investigar a un parásito? Pero que se emplean en el tratamiento de enfermedades. Investiga cuál es el uso o usos que se le da a cada una y completa la tabla.

Tabla 2. Ejemplos de proteínas recombinantes de interés terapéutico	
Producto (proteína recombinante)	Indicación terapéutica
Insulina	
Hormona de crecimiento	Deficiencia de la hormona en niños, síndrome de Turner
Eritropoyetina (EPO)	Anemia
Etanercept	



**Actividad 9.** La insulina es empleada en una enfermedad donde más de 12 millones de mexicanos la padecen, actualmente se comercializa la insulina recombinante (obtenida de manera similar con el procedimiento descrito en la lectura7. ¿Cómo investigar a un parásito?).

Realiza una investigación en internet acerca del uso e historia de la insulina. Con la información buscada, completa el siguiente texto.

Se recomienda revisar los siguientes enlaces:

- [http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/diabetes/descubrimiento\\_de\\_la\\_insulina.pdf](http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/diabetes/descubrimiento_de_la_insulina.pdf)
- [http://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/medicinaBalear/archives/Medicina/\\_Balear\\_/1996v11n/3p166.dir/Medicina\\_Balear\\_1996v11n3p166.pdf](http://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/medicinaBalear/archives/Medicina/_Balear_/1996v11n/3p166.dir/Medicina_Balear_1996v11n3p166.pdf)

La insulina es una hormona producida por el \_\_\_\_\_. Tiene una estructura proteica y su función consiste en regular la concentración de \_\_\_\_\_ en la sangre.

Sin la insulina, la \_\_\_\_\_ se acumula en la sangre hasta que alcanza niveles elevados y puede causar diferentes complicaciones en el funcionamiento del organismo. Esta es la enfermedad conocida como \_\_\_\_\_.

Cuando la enfermedad es causada por una escasa o nula producción de insulina, se puede regular el nivel de \_\_\_\_\_ en la sangre (glucemia) mediante la administración exógena de insulina.

En \_\_\_\_\_, los fisiólogos canadienses Frederick G. Banting y Charles H. Best extrajeron por primera vez la insulina del tejido pancreático de perros, y en 1923 la insulina estaba comercialmente disponible en los Estados Unidos.

La insulina para diabéticos se obtuvo a partir de páncreas de \_\_\_\_\_ o vacas, que aunque es biológicamente activa en humanos, no es idéntica a la humana, de modo que se pueden producir algunos problemas de reacciones inmunes adversas.

La insulina es el primer caso de proteína producida por ingeniería genética aprobada para uso en humanos desde \_\_\_\_\_.

En la actualidad, varios laboratorios farmacéuticos producen insulina humana, tanto a partir de bacterias como de levaduras, y sin ningún riesgo para la salud.



## Actividad 10. Realiza una infografía.



Las infografías son gráficos fijos o animados que combinan textos y elementos visuales con el fin de comunicar información precisa sobre variadas temáticas. La forma en que los transmiten debe ser amena, sintética y visual, facilitando la comprensión de información árida o compleja y estimulando al interés del lector, que de un golpe de vista puede seleccionar en ellas lo que le interesa, lo que ya conoce y lo que no.

Para realizarla se sugiere emplear las siguientes opciones en internet, en cada una de ellas viene una breve descripción de las características que te puede brindar de acuerdo a la figura 17.

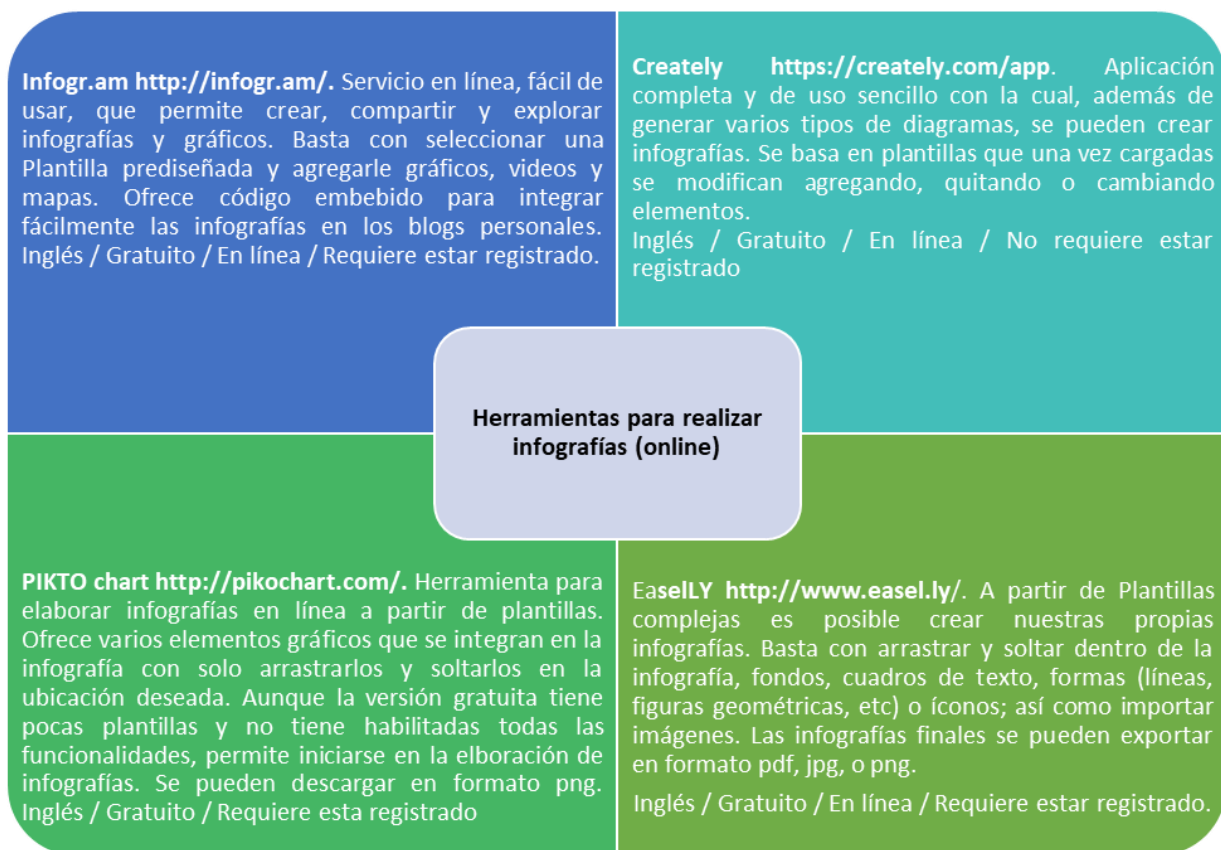


Figura 17. Recursos disponibles en la red para realizar infografías

Para elaborar la infografía, tomar en cuenta los siguientes temas descritos en la figura 18 relacionados con el ADN.

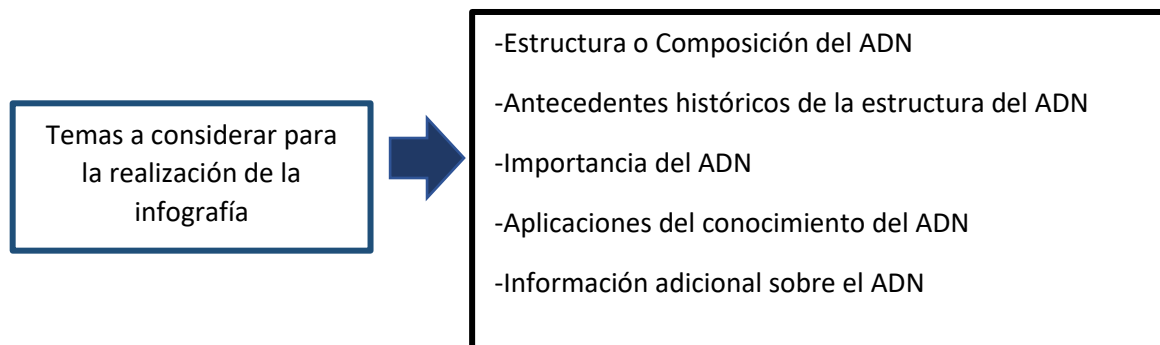


Figura 18. Temas a considerar de manera sintética en la infografía

Para finalizar, se propone una rúbrica de la infografía elaborada.

<b>Criterios para evaluarla</b>	<b>Excelente (3 puntos)</b>	<b>Satisfactorio (2 puntos)</b>	<b>Regular (1 punto)</b>
<b>Información</b>	Contiene información sobre: Historia, composición, importancia, aplicaciones e información adicional del ADN	Contiene información de 2 a 4 tipos: histórica, composición, importancia, aplicaciones o información adicional del ADN	Contiene información de un tipo: histórica o composición o importancia, etc. del ADN
<b>Redacción</b>	El texto es legible y no contiene fallos graves de ortografía	El texto es legible pero contiene fallos ortográficos	El texto resulta poco legible y contiene muchos fallos ortográficos
<b>Diseño</b>	La infografía es atractiva y presenta una adecuada organización de los elementos en el espacio.	La infografía es atractiva pero no presenta una organización clara de los elementos en el espacio	La infografía no resulta atractiva y presenta los elementos muy desorganizados, lo cual dificulta su comprensión

Puntaje máx. = 9

Puntaje mín. = 3

Puntaje obtenido: \_\_\_\_\_

Ejemplo de una infografía realizada por el autor de este trabajo.

# ADN

El congreso de los EUA declaró el 25 de abril como el "Día del ADN" para celebrar el 50 aniversario del descubrimiento de la estructura de doble hélice del ADN, publicada en el año de 1953 por J. Watson y F. Crick, con la valiosa aportación de R. Franklin.

El trabajo de estos científicos develó el misterio de la molécula que contiene la información necesaria para que cualquier organismo vivo nazca y se desarrolle, desde los seres humanos hasta las bacterias.

El objetivo del estudio del ADN es conocer nuestra identidad del primero al último de los genes para impactar en el diagnóstico y el desarrollo de terapias a nivel molecular

## ¿Qué es el ADN?

El ADN es la molécula que contiene instrucciones necesarias para construir crecer a los seres vivos. Estas instrucciones son conocidas como **código genético**.

El conjunto total de esta información genética es llamado **genoma** y determina las características de cada individuo

El ADN esta compuesto por dos cadenas que se alinean formando una estructura conocida como **doble hélice** que está constituida por cuatro bases nitrogenadas:

- Adenina (A)
- Citosina (C)
- Guanina (G)
- Timina (T)

además de grupos de fosfatos y azúcares, que en combinación son responsables de contener la información para la producción adecuada principalmente de proteínas

Las bases en las hélices opuestas se emparejan específicamente; una A siempre se empareja con una T, y una C siempre con una G

El genoma humano contiene aproximadamente 3,000 millones de estos pares de bases los cuales se encuentran en los 23 pares de cromosomas dentro del núcleo de todas las células

Un gen es la unidad básica que almacena y transmite la información hereditaria a la descendencia.

Por medio de los genes, la célula puede producir proteínas, que son las macromoléculas más importantes para el funcionamiento de los organismos vivos.

Elaboración propia en <https://www.easel.ly/>

Fuente: <http://www.genome.gov/dnaday/>



## Actividad 11. Elaboración de un modelo tridimensional



A partir de los materiales y pasos a seguir: construye el modelo de la estructura del ADN. Los materiales son fáciles de conseguir.

### Construcción del modelo

#### 1. Materiales:

-Tijeras

-Regla

-Dos tiras de hilo cáñamo negro de 50 cm para representar la desoxirribosa (azúcar);

-8 popotes coloridos de refresco, que representarán las diferentes bases nitrogenadas (Adenina = azul, Timina = blanca, Citosina = rojo, Guanina = amarillo)

-Aguja

#### 2. Procedimiento.

Los popotes de refresco deben ser cortados en pedazos de 6 cm de largo. Cada color representará una base nitrogenada diferente. El hilo debe pasar, con o auxilio de una aguja, por una de las extremidades del pedazo del popote.

Esta operación se debe repetir con otros pedazos de popote para formar una cinta de 'nucleótidos'. Entre un pedazo del popote y otro sujeto en el hilo, se dará un lazo para representar el ácido fosfórico (Figura 19).

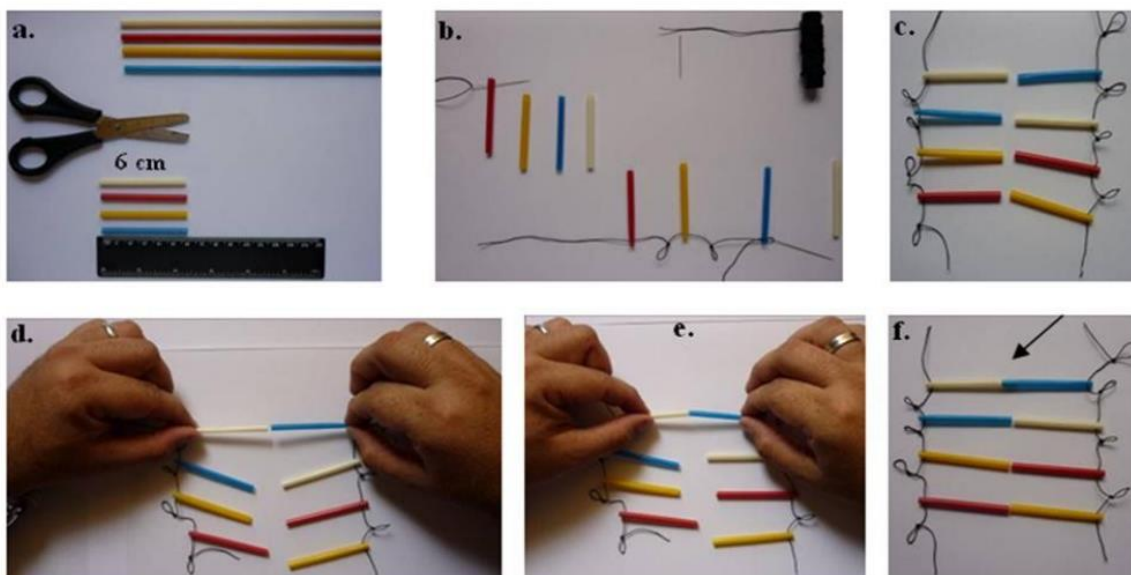


Figura 19. Etapas de la construcción del modelo de la molécula de ADN a. Corte de los popotes; b. Aguja con el hilo pasando por las extremidades de los pedazos de los popotes; c. modelo con dos cintas (secuencia) de nucleótidos. Las imágenes d., e., y f. presentan el proceso de encaje de los popotes.



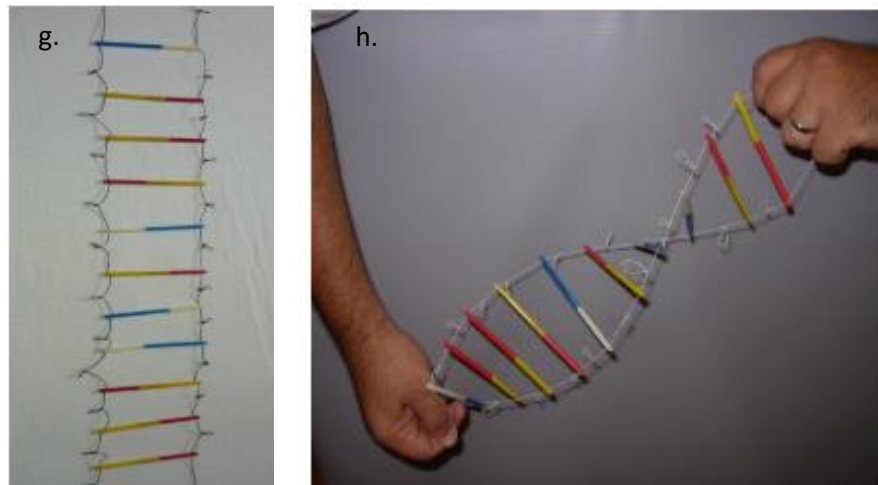


Figura 20. Resultado de la construcción del Modelo de la molécula del ADN (g).  
Conformación helicoidal (h).

Modificado y recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92017185011>> ISSN



## Actividad 12. Preguntas de retroalimentación



1. Con la información previa a la construcción del modelo y la elaboración del mismo. Sucedió que (subraya):

- A. Comprendí de qué se compone el ADN
- B. Hubo términos que no comprendí
- C. No comprendí de qué se compone el ADN

2. Dependiendo de tu respuesta anterior, contesta:

A. ¿Mejorarías o implementarías alguna actividad?

---

---

B. ¿Qué conceptos no te quedaron claro? ¿Por qué crees que sucedió esto?

---

---

---

C. Considerando tu experiencia en otras materias, ¿Cómo te hubiese gustado que se explicara este tema (actividades, información previa, etc.)?

---

---

**Respuestas a algunas actividades.****Actividad 4.**

A	N	H	E	L	I	C	E	R	R	S	S	R
D	O	B	L	E	D	A	S	R	O	B	A	E
N	R	D	C	S	S	E	R	K	S	A	D	F
F	O	S	F	A	T	O	C	O	N	S	A	D
X	S	W	S	Z	J	I	J	F	I	E	N	E
C	A	S	T	U	R	O	C	I	K	S	E	E
Q	L	O	W	C	P	E	R	A	L	A	G	R
M	I	S	W	A	T	S	O	N	I	M	O	G
A	N	T	O	R	T	O	M	I	W	I	R	O
R	D	Q	U	I	M	E	S	D	R	F	T	T
F	O	T	O	G	R	A	F	I	A	H	I	F
C	I	N	C	U	E	N	T	A	Y	U	N	O

**Actividad 6.**

2. 1 a), 2 c)

**Actividad 7.**

Respuestas. Observación: Se observa un modelo de la estructura del ADN formada por dos cadenas de nucleótidos complementarias. Las estructuras indicadas son: 1) fosfato; 2) desoxirribosa (azúcar); 3) timina; 4) citosina; 5) guanina; 6) adenina; 7) nucleótido. En el recuadro se observa uno de los nucleótidos que constituyen el ADN. Está formado por un grupo fosfato unido a la ribosa y esta, a su vez, está unida a la base nitrogenada.

**Actividad 9.** Respuestas en orden: Páncreas, glucosa, glucosa, diabetes mellitus, glucosa, 1921, cerdos y 1982

**Textos que también podrían ser utilizados en la propuesta didáctica de este trabajo:**

- Bolívar, F. (2017). Nuevos medicamentos, fármacos y vacunas. En: Bolívar-Zapata F. (coord.) Transgénicos grandes beneficios, ausencia de daños y mitos. Academia Mexicana de Ciencias, p. 85
- Bolívar, F. (2017). Usos y beneficios de organismos transgénicos y sus productos, en particular proteínas, en la industria alimentaria. En: Bolívar-Zapata F. (coord.) Transgénicos grandes beneficios, ausencia de daños y mitos. Academia Mexicana de Ciencias, p. 86.
- Espinal A. y cols. (2018, 24 de mayo). Develando los enigmas moleculares del Axolotl, un organismo orgullosamente mexicano. *Avance y Perspectiva*. Recuperado de: <https://avanceyperspectiva.cinvestav.mx/develando-los-enigmas-moleculares-del-axolotl-un-organismo-orgullosamente-mexicano/>
- Lucas, M. (2014, septiembre). Fármacos dirigidos al ADN: ¿pertenecen al pasado o al futuro? *SEBBM divulgación, La ciencia al alcance de la mano*. Recuperado de: [http://dx.doi.org/10.18567/sebbmdiv\\_RPC.2014.09.1](http://dx.doi.org/10.18567/sebbmdiv_RPC.2014.09.1)

**Preguntas generales para usarse con los textos que también podrían ser utilizados en la propuesta didáctica de este trabajo**

Instrucciones:

Las siguientes preguntas se deberán responder después de leer los textos propuestos.

1. Todo narrador presupone un destinatario, es decir, alguien a quien va dirigido el relato. Contesta brevemente las siguientes preguntas:
  - a) ¿A quién se dirige su historia el narrador?
  - b) ¿Cómo definirías o caracterizarías a ese destinatario?
  - c) ¿Cuál es el mensaje (moral, social, religioso, etc.) que el narrador pretende dar al destinatario?
  - d) ¿Te identificas con el destinatario?
  - e) ¿En qué aspectos o valores te identificas?
2. Sintetiza en 10 líneas, cuáles son tus impresiones después de leer cada texto, tales como: gusto personal, relación con otros textos, relación con experiencias personales, etc. ¿Te gustó la lectura?
3. Transcribe 5 ideas principales de la lectura
4. ¿Cuál es tu opinión sobre el hecho de estudiar, aprender, mediante el uso de materiales de divulgación científica?

## Reflexión final

La enseñanza de las ciencias y la divulgación científica coinciden en el hecho de comunicar el conocimiento científico, sin embargo, las diferencias entre ambas, es marcada por sus objetivos, para la primera se antepone el aprendizaje a; despertar el interés por la ciencia. Si bien en el contexto de la educación formal habrá casos que el docente pueda “combinar” ambas situaciones, es probable que los mismos requisitos de evaluación y el compromiso estudiante-institución educativa, desfacen a segundo plano, el promover el interés en ciencias.

El reto de conjuntar la divulgación científica y la enseñanza de las ciencias radica principalmente en la poca noción que tiene la población en general sobre su importancia. Aún dentro de la propia comunidad científica, existe esta confusión, ya que no se sabe diferenciarlas. A partir de estas situaciones, el presente trabajo se ha enfocado en la elaboración de una estrategia didáctica que incluye: materiales educativos de divulgación (con las características antes descritas) que podrían ser utilizados en un entorno de enseñanza, es decir de educación formal.

Con la experiencia laboral obtenida por el autor, resulta indispensable buscar estrategias para enseñar, si bien en el ámbito profesional corresponde más el término «capacitación» este no suele ser llevado de la mejor manera, quizás justificado por el ritmo propio del trabajo; sin embargo, eso no quita la incapacidad o poca habilidad desarrollada de aquellos encargados de dicha tarea. Además, en la experiencia académica del Servicio social y la estancia estudiantil (clave: 1905) en temas propios de investigación en: bioquímica y química, respectivamente, aun con sus similitudes y diferencias como temas científicos, el desarrollo de ambos proyectos en ningún punto se enfocaba a la divulgación del mismo. Si bien en el último; hoy día persisten intentos de “talleres” estos no van más allá de la propia comunidad de la Facultad o de la “sociedad científica”, es decir el conocimiento generado sólo se focaliza en un sector. Por lo que resulta importante “saltar” esa barrera y proponer estrategias para otros sectores, lo cual es posible en forma de divulgación científica, aparte de la propia educación formal. Reflexiono el porqué de dicha experiencia; lo que me lleva a lo previo: la Universidad.

La carrera de Química Farmacéutica Biológica impartida en la Facultad de Química, UNAM, cuenta con asignaturas optativas disciplinares, divididas en Fármacos y Medicamentos, Bioquímica-Microbiológica y Atención Farmacéutica. Además, se deben al menos cursar 3 Asignaturas Optativas Sociohumanísticas, de todos los bloques mencionados, solo en la sección de Sociohumanísticas (las cuales son diez las opciones con la que cuenta el alumnado) solo una tiene relación directa con la divulgación-educación de las ciencias (comunicación científica clave: 0104). Es decir, pese a que un gran número de egresados en algún punto de su vida impartirán clases o tendrán que capacitar personal, la facultad no ofrece una solución a un campo que es innegable que gran cantidad de alumnos tomará en su vida profesional.

Los que en un punto de nuestra existencia nos denominamos científicos, no somos fundamentalmente diferentes del público, excepto por el muy estrecho campo de nuestra especialización, por ello la divulgación de la ciencia pretende hacer accesible el conocimiento especializado, se trata de tender un puente entre el mundo científico y el resto del mundo; es el canal que permite al público la integración del conocimiento científico a su cultura. Es una noble tarea la de dar a conocer a las comunidades los hallazgos que con rigurosidad científica se han conseguido producto de las investigaciones.

Ahora, el hecho de que en México estemos alejados de la ciencia, tiene que ver con lo que menciona Jean-Marc Lévy-Leblond: “si la ciencia no es apoyada es porque no se la comprende, y en este sentido se demanda a los medios, el sistema educativo y los propios investigadores que se esfuercen por difundir los conocimientos hacia el público”.

Para subsanar esta situación es necesario reinsertar la ciencia en la cultura, por lo que este trabajo resulta una posible respuesta a esa necesidad. Para esto se debe considerar un punto crucial: la ciencia no empieza en los hechos, sino en las preguntas. Por lo que los materiales educativos elaborados, organizados y jerarquizados estuvieron en múltiples ocasiones sucedidos por preguntas, como se muestra en la tabla 6 hay varios tipos de preguntas y las que fueron de interés en este trabajo, las que tienen que ver con el conocimiento científico en el ámbito de una ciencia escolar, son las semiabiertas y abiertas.

Preguntas		
Cerradas	Semi	Abiertas
Son breves al contestar. La respuesta puede o no estar en un libro o cuaderno de apuntes.	La pregunta generalmente requiere una o dos oraciones para ser contestada. La respuesta suele ser por interpretación de un libro o cuaderno de apuntes.	La pregunta requiere al menos, un párrafo. La respuesta puede encontrarse en diversas fuentes.
La respuesta es correcta o equivocada	La respuesta puede ser correcta o equivocada, dependiendo de su explicación	La respuesta puede evaluarse como correcta, incorrecta o cómo neutral. Para las dos primeras situaciones, la información mostrada en los libros, cuadernos de apuntes y la explicación; son fundamentales
Generalmente empiezan con QUÉ, DÓNDE, CUÁNDO o CUÁNTO	Generalmente empieza con CÓMO	Generalmente empiezan con POR QUÉ o QUÉ PASARÍA SÍ.

Tabla 6. Tipos y características de las preguntas. Modificado de *Chamizo, 2000*.

Por lo que, además de las preguntas, se plantearon diversas actividades en la estrategia que permitieran retroalimentar el tema abordado: ADN, ya que este tema plantea la movilización de conocimientos que no pueden ser solamente “de libro”, sino que corresponden a una actividad científica. Así, no se puede aislar el “saber científico” de la vida: de sus aplicaciones, de su significado en relación a otras materias y sobre todo de sus implicaciones en la sociedad, así como de su percepción (Chamizo, 2000).

Por lo que atendiendo a este último párrafo es necesario comprender la percepción pública de la ciencia, mediante tres postulados:

**I.** Se supone que la ciencia brinda una mirada única y privilegiada del mundo y que constituye un elemento fundamental para el desarrollo de la humanidad.

**II.** Se asume la existencia de una cuota importante de ignorancia pública en materia de ciencia. Ignorancia o falta de comprensión que está en la base del rechazo a ciertos programas científicos por parte del público, como son los temas abordados en el momento Inicio.

De lo anterior se deriva:

**III.** La importancia de la construcción de un lenguaje científico para el desarrollo integral de la sociedad.



## Conclusiones

El objetivo general se cumplió debido a que se diseñó una estrategia didáctica que fomenta un acercamiento al tema del ADN: estructura, antecedentes históricos, importancia, función, aplicaciones. Con el uso de materiales y actividades de divulgación científica. La estrategia se articuló con el primer objetivo específico: la revisión bibliográfica breve de cómo elaborar secuencias didácticas en ciencias. Es fundamental, recalcar que se consideraron ciertos elementos de las propuestas, ya que los materiales y actividades están orientados a la divulgación científica.

Con respecto a Sánchez y Valcárcel (1993), se consideró el concepto de análisis científico, este, está relacionado con el presente trabajo con el hecho de que se reflexionó la estructura del contenido científico tomando como referencia los planes de estudio, es decir abordar temas oficiales del último año de la Educación Secundaria y de la Educación Media Superior. Otro aspecto que considera la misma autora es: la naturaleza de las ciencias, a partir de: conocimientos conceptuales (el lenguaje empleado que se presenta en las lecturas) ya que se proveen de términos que se emplean en la investigación científica, como ejemplos: transgénico, organismo genéticamente modificado, clonación, gen, bases nitrogenadas, fosfato, plásmido, bacterias, etcétera.

También se consideró el conocimiento procedimental, en este caso en algunas actividades (1, 8 y 9) donde se plantea la búsqueda de información en línea y en las últimas actividades (10 y 11) donde se debe elaborar una infografía y un modelo tridimensional de la estructura del ADN, considerando esto último como algo “experimental”.

Para el caso de Sanmartí (1996) se consideraron los momentos empleados por el autor: inicio, desarrollo y cierre. Cabe recalcar que estos momentos se dan por el control y moderación del profesor, en un entorno escolar. Para el caso de la estrategia presentada, los momentos se relacionan con las etapas de la siguiente forma: Inicio donde las lecturas iniciales abordan temas sobre: transgénicos y clonación de seres vivos puesto que podrían promover la etapa *para explorar*, es decir promover las preguntas: ¿qué sé del tema? ¿qué opinión tengo sobre el tema? Desarrollo, en la estrategia es la explicación de lo que implica la palabra ADN, es decir su importancia, su estructura, etc. En donde las actividades asociadas permiten la retroalimentación del material, es decir *para*

*sintetizar*. Para finalizar con Cierre;  *para aplicar* donde se puede considerar a las actividades de realizar una infografía, así como el modelo de la doble hélice del ADN.

Siguiendo con Martine y Dimitris (2004), el conocimiento científico de este trabajo corresponde a una parte del dogma de la biología molecular, en este caso el ADN: estructura o composición, importancia, antecedentes de la estructura y aplicaciones de su conocimiento. Esto a un primer acercamiento, promovido por materiales de divulgación científica. Además del empleo de temas de interés social como lo son los transgénicos y la clonación de seres vivos, ambos pensados en un contexto más cercano, es decir, en México y otro país latinoamericano: Argentina. Lo anterior descrito, como el eje epistémico hacia el conocimiento científico.

Por otra parte, el rombo que presentan dichos autores; la estrategia está elaborada a partir del plano pedagógico hacia el conocimiento científico. Además de que supone aspectos del mundo material, es decir el nivel de a quién va dirigido la estrategia: alumnos pre-universitarios.

Si bien Pro-bueno y Solbes (2017) hacen énfasis en el profesor como el actor principal, lo importante de estos autores es que retoman el concepto de “análisis científico” además del conocimiento didáctico, es decir las formas y actividades que permitan asimilar el conocimiento, por lo que en la estrategia las actividades se ubican de forma sucesiva a cada material. Además, considerando al mismo autor, la estrategias son un proceso reflexivo, por lo que las actividades propuestas en el momento inicio permiten pensar sobre la ciencia como actividad humana, como ejemplo: el origen del financiamiento, las instituciones y empresas involucradas, los problemas socioeconómicos que podrían generarse, etcétera. (considerado en las lecturas 1, 2 y 7). A su vez, es interesante discutir, a partir de las actividades propuestas, otros problemas relacionados como por ejemplo: la preservación de la biodiversidad, las problemáticas de salud que puede solucionarse con el conocimiento del ADN, etcétera.

Además de las preguntas, otras actividades tienen como intención que se realice una asociación entre conceptos (actividad 4). La de otros es dar retroalimentación sobre conceptos abordados en los textos (actividades 5, 6 y 7). La actividad 8 parte del texto

antecedido con la intención de relacionar la aplicación con una enfermedad que es común en México y, que parte de la solución actual a esta patología deriva del conocimiento sobre el ADN.

Considerando los planos o niveles de interpretación y representación de los materiales propuestos por Johnstone (1986) lo expuesto en los materiales educativos de divulgación se encuentran en un plano simbólico, es decir, la representación de: formulas, nombres químicos, estructuras químicas (considerado en las lecturas 5 y 6) además de que en las últimas actividades (10 y 11) se establece un plano macroscópico o de objeto material (Chamizo, 2010), esto propio del tema elegido: ADN. En este sentido, la elaboración de ambos permitir el contacto con los materiales, lo cual permite la finalización de la transición microscópico-simbólico-macroscópico.

El otro objetivo particular consiste en proveer un vocabulario básico para el desarrollo de la construcción de un lenguaje científico. De esta forma, se sostiene que la comprensión del “lenguaje científico” implica que el público estará intelectualmente mejor equipado para participar en los procesos de tomas de decisiones y contribuir así con sistemas democráticos en los que el conocimiento científico se ha vuelto fundamental.

Los materiales educativos presentados en este trabajo permiten acercarse a líneas de investigación vigentes; a su propia terminología, esto en todas las lecturas presentadas, además de considerar una lista de lecturas complementarias, que podría emplearse en la estrategia. Para esto último se propuso, también, una serie de preguntas generales que podrían emplearse para cada lectura.

El último momento, denominado Cierre, se propuso la construcción de un modelo bidimensional (infografía) y tridimensional (modelo de la doble hélice), para lo cual, en este punto de la estrategia, el vocabulario empleado, ya no es extraño o distante para el lector.

Para finalizar, las perspectivas en torno al siguiente trabajo son:

- Aplicar la estrategia en un contexto escolar en los niveles que se indican en el marco teórico.
- Implementar metodologías para la obtención de evidencias de aprendizaje.
- Desarrollar materiales educativos a partir de los proyectos de investigación reciente.

## Referencias

Abreu de Andrade, Viviane, Castello Branco da Cunha, Karla Maria, Vianna Barbosa, Júlio, "Pajitex": una propuesta de modelo didáctico para la enseñanza de ácidos nucleicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* [en línea] 2011, 8 (Enero): [Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2018] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92017185011>>

Acosta, K. y Bravo I., (2016). Breve guía ilustrada sobre como expresar y purificar proteínas recombinantes. Paciencia pa'la Ciencia. Recuperado de <https://pacienciaparahacerencia.wordpress.com/>

Acuerdo número 444 (2008, 21 de octubre), por el que se establecen las competencias que constituyen el marco curricular común del Sistema Nacional de Bachillerato, Diario Oficial de la Federación, México, SEP. [Fecha de consulta: 26 de noviembre de 2018] Disponible en: <[http://www.sems.gob.mx/work/models/sems/Resource/10905/1/images/Acuerdo\\_444\\_marco\\_curricular\\_comun\\_SNB.pdf](http://www.sems.gob.mx/work/models/sems/Resource/10905/1/images/Acuerdo_444_marco_curricular_comun_SNB.pdf)>

Ali, I. K., C. G. Clark y W. A. Petri Jr. (2008), "Molecular Epidemiology of Amebiasis", *Infection, Genetics and Evolution*, 8, 698-707

Bahar, M., Johnstone, A. H. y Hansell, M. H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education*. 33(2), 84-86.

Bar, N. (2009). Clonaron en Chascomús un toro campeón. LA NACIÓN, recuperado de: "<https://www.lanacion.com.ar/1147939-clonaron-en-chascomus-un-toro-campeon>

Barahona, A. & Cortés, O. (2008). Valores y la enseñanza de la biología en secundaria. México: Castillo.

Barbarin, A. (2013). Unidad didáctica: El ADN, la herencia biológica. Un aprendizaje significativo. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Pública de Navarra. España.

Barros, M.P. y Teixeira, F.M. (2006). Jogo "Dominó DNA": Experiência de ensino de duplicação de DNA. En: Caderno de Programa e Resumos. X Encontro "Perspectivas do

Ensino de Biologia”; 1º Encontro Regional de Ensino de Biologia (MT/MS/SP). Histórias e Percursos da Biologia no Currículo. São Paulo: Brasil.

Bonilla, E. (2000). Reforma y calidad de la educación básica: el papel del currículo y de los materiales didácticos en la adquisición de las competencias básicas, en SEP (2000). Memoria del quehacer educativo. 1995-2000, México, 91-125

Candela, A.; F. Gamboa; T. Rojano; A. Sánchez; E. Carvajal y C. Alvarado. (2012) “Recursos y apoyos didácticos” En: Flores-Camacho F. (coord.) La enseñanza de la ciencia en la educación básica en México

Chehaibar, L., Franco, J., García-Sainz, A. y Mayer, A. (2010). La UNAM por México. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

De Francisco, G. (2013) Tipos de Educación. En: Reynoso, E. (coord.). La divulgación de la ciencia en México desde distintos campos de acción: Visiones, retos y oportunidades Sociedad Mexicana para la Divulgación de la Ciencia y la Técnica, A.C. México. SOMEDICYT p. 40.

Del Valle, S. (2018). El drama tecnológico en las escuelas. Educación Futura. Periodismo de interés público. Consultado en: <http://www.educacionfutura.org/el-drama-tecnologico-en-las-escuelas/>

De la Peña, A., L. (1987). Ciencia y tecnología en México, país dependiente. *Ciencias*. No. 5. Consultado en: <http://www.revistaciencias.unam.mx/es/153-revistas/revista-ciencias-10/1309-ciencia-y-tecnolog%C3%ADa-en-m%C3%A9xico,-pa%C3%ADs-dependiente.html>

El Modelo Educativo en México: el planteamiento pedagógico de la Reforma Educativa. Perfiles educativos [online]. 2016, vol.38, n.154 [citado 2018-12-03], pp.216-225. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-26982016000400012&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-26982016000400012&lng=es&nrm=iso). ISSN 0185-2698.

Estévez, Ety (2002), ¿Qué es la enseñanza y qué es el aprendizaje?, Madrid, Paidós.

Faust D. M., Guillen N. 2012. Virulence and virulence factors in *Entamoeba histolytica*, the agent of human amoebiasis. . *Microbes and Infection* 14: 1428-1441

Flavell, J.H. (1976). Metacognitive aspects of problema solving, en Resnick, L.B. (ed.). The nature of intelligence. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.

Flores, F. (2012). Introducción. La investigación en las aulas de ciencias y la formación docente. En: Flores-Camacho F. (coord.) La enseñanza de la ciencia en la educación básica en México. Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación, p.5.

Gobierno de la República (2013). Estrategia Digital Nacional. Documento digital, consultado en: [https://framework-gb.cdn.gob.mx/data/institutos/edn/Estrategia\\_Digital\\_Nacional.pdf](https://framework-gb.cdn.gob.mx/data/institutos/edn/Estrategia_Digital_Nacional.pdf)

García, V. (2003). Las Ciencias Sociales en la Educación. México DF: DGDC-UNAM.

Guevara Pardo, G. (2004). ADN: Historia de un éxito científico. Revista Colombiana de la Historia de la Ciencia, 3(10-11), 9-40

Hassan, A.B., Chemicharo, P., Rodriguez, U., Cardoso, I. y Ferreira, M.S. A utilização de modelos didáticos no ensino de Biologia: uma experiência de prática de ensino no Colégio de Aplicação da UFRJ. En: Caderno de Programa e Resumos. X Encontro “Perspectivas do Ensino de Biologia”; 1º Encontro Regional de Ensino de Biologia (MT/MS/SP). Histórias e Percursos da Biologia no Currículo. São Paulo: Brasil.

Hernández, R. (2011). El diseño de una unidad didáctica: un ejercicio docente de continua reflexión. Colombia Entre Comillas, 14, 81-92.

Historia del Colegio de Ciencias y Humanidades (2018). Recuperado de: <https://www.cch.unam.mx/historia>.

Instituto Nacional de Evaluación Educativa, INEE (2015). Reforma Educativa. Marco Normativo. INEE: México

Instituto Nacional de Evaluación Educativa, INEE (2018). La educación obligatoria en México, 2018. INEE: México. Consultado en: [https://www.inee.edu.mx/portalweb/informe2018/04\\_informe/index.html](https://www.inee.edu.mx/portalweb/informe2018/04_informe/index.html)

INEGI. CONACYT (2017). Encuesta sobre la Percepción Pública de la Ciencia y la Tecnología (ENPECYT).

Íñiguez, P. Fco. J. (2005). La enseñanza de la genética: Una propuesta didáctica para la educación secundaria obligatoria desde una perspectiva constructivista. marzo 2, 2015, de Universitat Barcelona Sitio web: [http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/31760/01.FJIP\\_1de4.pdf?sequence=1](http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/31760/01.FJIP_1de4.pdf?sequence=1)

Johnstone, A.H. (1982). Macro and micro chemistry. *School Science Review*. 64 (227), 377-379

Krasilchik, M. (2004). *Prática de Ensino de Biologia*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

Lewis, J. & Kattmann, U.. (2004, February 6). Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26(2), pp.195-206.

Lodish, H., Berk, A., Zipursky, S.L., Matsudaira, P., Baltimore, D. y Darnell, J. (2005). *Biología Celular e molecular*. Porto Alegre: Artmed.

Lomelí, Guadalupe (1991). "Acerca de la enseñanza de la biología", *Revista de la Educación Superior*, vol. XX, núm. 77, pp. 117-130.

Mejía, R. (2015). Tendencias actuales en la investigación del aprendizaje informal. *Sinéctica*, 0(26). Recuperado de <https://sinectica.iteso.mx/index.php/SINECTICA/article/view/247/240>

Méheut, Martine and Psillos, Dimitris(2004)'Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research',*International Journal of Science Education*,26:5,515 — 535.

Méndez, A. (2015). La taxonomía de Bloom, una herramienta imprescindible para enseñar y aprender.Tenerife, ES. Centro del profesorado. Recuperado de: <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/edublog/cprofestenerifesur/2015/12/03/la-taxonomia-de-bloom-una-herramienta-imprescindible-para-ensenar-y-aprender/>

México: Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación. pp. 57-76.ISBN: 978 607 7675 39 6



Negrete Yankelevich, A. (2008). La divulgación de la ciencia a través de formas narrativas. México: Dirección General de Divulgación de la Ciencia UNAM.

Núñez, J. (2000). Lo que la educación científica no debería olvidar: Rigor, objetividad y responsabilidad social. Recuperado el 6 de diciembre de 2018, de <http://www.campus-oei.org/salactsi/nunez05.htm>

Olivos-García A, Saavedra E, Nequiz Avendaño M, Pérez-Tamayo R. Amibiasis: mecanismos moleculares de la patogenicidad de Entamoeba histolytica. Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM Marzo-Abril 2011;54(2):10-20.

Olmedo, J. (2011). Educación y divulgación de la Ciencia: tendiendo puentes hacia la alfabetización científica. Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación De Las Ciencias, 8(2), pp. 137-148. Recuperado a partir de <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2703>

Ortiz Hidalgo, C. (2003). Encontramos el secreto de la vida. 50 años del descubrimiento de la estructura del ADN. Anales Médicos, 48(3), 177-188.

Pedroso Herrera, T. (2000). La educación y los elementos del proceso comunicativo. *Comunicar*, (15), 123-126.

Programa para la Evaluación Internacional de los alumnos, PISA (2015). Informe ejecutivo: México. OCDE. Recuperado el 8 de diciembre de 2018, de <https://www.oecd.org/pisa/PISA-2015-Mexico-ESP.pdf>

Prieto, J. A. P., Carrasco, C. J. G., & Martínez, P. M. (2013). El uso de fuentes primarias en el aula y el desarrollo del pensamiento histórico y social: Una experiencia en Bachillerato. *Clío: History and History Teaching*, 39, 34-14

Pozo, Juan Ignacio (1993), "Estrategias de aprendizaje", en César Coll, Jesús Palacios y Álvaro Marchesi (comp.), *Desarrollo psicológico y educación II. Psicología de la educación*, Madrid, Alianza, pp. 199-221.

Purves, W.K., Sadava, D., Orians, G.H. y Heller, H.C. (2006). *Vida: a ciência da biologia. Volume I: Célula e Hereditariedade*. Porto Alegre: Artmed.

Sánchez-Mora, C.; E. Reynoso-Haynes; A.M. Sánchez Mora and J. Tagüeña (2014). *Public communication of science in Mexico: Past, present and future of a profession*.

Public Understanding of Science. (June 12, 2014). Disponible en: <http://pus.sagepub.com/content/early/2014/04/28/0963662514527204>

Ralston KS. Taking a bite: Amoebic trophocytosis in *Entamoeba histolytica* and beyond. *Current opinion in microbiology*. 2015; 28:26-35. doi:10.1016/j.mib.2015.07.009

Razo, Ana Elizabeth. (2018). La Reforma Integral de la Educación Media Superior en el aula: política, evidencia y propuestas. *Perfiles educativos*, 40(159), 90-106. Recuperado en 26 de noviembre de 2018, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-26982018000100090&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-26982018000100090&lng=es&tlng=es).

Reynoso, E. (2013) La divulgación de la ciencia en México desde distintos campos de acción: Visiones, retos y oportunidades Sociedad Mexicana para la Divulgación de la Ciencia y la Técnica, A.C. México. SOMEDICYT, p.6.

Sáiz Serrano, J. (2013). Alfabetización histórica y competencias básicas en libros de texto de historia y en aprendizajes de estudiantes. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 27, 37-64.

Sánchez Blanco, Gaspar; María Victoria Valcárcel Pérez. "Diseño de unidades didácticas en el área de Ciencias Experimentales." *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas* [online], 1993, Vol. 11, Núm. 1 , p. 33-44. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/39774> [Consulta: 12-12-18]

Sánchez Mora, A. M. (1998). La divulgación de la ciencia como literatura. México: Dirección General de Divulgación de la Ciencia UNAM.

Sanmartí, N. (1996). Enseñar, aprender y evaluar, un proceso de regulación continua: propuestas didácticas para las áreas de Ciencias de la Naturaleza y Matemáticas. <http://www.redined.mec.es/oai/indexg.php?registro=008199720076>.

Secretaría de Educación Pública (2011). Programas de Estudio 2011. Guía para el maestro. Educación Básica Secundaria. Ciencias. México: SEP.

Secretaría de Educación Pública (2017a). Programas de Estudio 2017. Guía para el maestro. Educación Básica Secundaria. Ciencias. México: SEP.

Secretaría de Educación Pública (2017b). Los Fines de la Educación en el Siglo XXI, México. SEP, 2017. Consultado el 8 de diciembre de 2018 en: [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/207276/Carta\\_Los\\_fines\\_de\\_la\\_educacion\\_final\\_0317\\_A.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/207276/Carta_Los_fines_de_la_educacion_final_0317_A.pdf)

Sidus (2004): "Biosidus anuncia el nacimiento de pampero, el primer ternero transgénico para hgh del mundo" (información de prensa), en: [www.sidus.com.ar/web/pressinfo.nsf/pag/nacimientopampero?Opendocument](http://www.sidus.com.ar/web/pressinfo.nsf/pag/nacimientopampero?Opendocument).

Talanquer, V. (2018). Chemical rationales: another triplet for chemical thinking. *International Journal of Science Education*. 40 (15), 1874-1890.

Torres, I. (2010). La enseñanza tradicional de las ciencias versus las nuevas tendencias educativas. *Revista Electrónica Educare [en línea]*, XIV (Enero-Junio) [Fecha de consulta: 6 de diciembre de 2018] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=194114419012>> ISSN

Valdez, R. (2012) Materiales educativos y recursos didácticos de apoyo para la educación en ciencias. En: Flores-Camacho F. (coord.) *La enseñanza de la ciencia en la educación básica en México*. Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación. pp. 93-95.

Vygotsky, L.S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Crítica.

Wood-Robinson, C., Lewis, J. y Leach, J. (2000). Young people's understanding of the nature of genetic information in the cells of an organism. *Journal of Biological Education*, 35, 2936.

World Health Organization. Amoebiasis. *Weekly Epidemiologic Record*. 1997; 72:97-100.

Ximénez C., Cerritos R., Rojas L., Dolabella S., Morán P., Shibayama M., González E., Valadez A., Hernández E., Valenzuela O., Limón A., Partida O., Silva E., F. 2010. Human amebiasis: Breaking the paradigm? *Int Jour Environ Res Public Health*. 3: 1105-1120.

Zea, Leopoldo (1978) *El positivismo en México: Nacimiento, Apogeo y decadencia*. México: FCE