



Universidad Internacional de La Rioja
Facultad de Educación

Máster Universitario en Formación del Profesorado de
Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación
Profesional y Enseñanzas de Idiomas

*Thinking Based Learning aplicado al estudio
de “La Revolución Genética y sus
consecuencias” en Cultura Científica de 1º
de Bachillerato*

Trabajo fin de estudio presentado por:	Kászon Balázs Kovács
Tipo de trabajo:	Propuesta de intervención
Especialidad:	Biología y Geología
Directora:	Mª Luz Diago Egaña
Fecha:	12 de enero de 2022

Resumen

Los objetivos generales de este trabajo son, por un lado, profundizar sobre el *Thinking Based Learning* (abreviado *TBL*; en español: Aprendizaje Basado en el Pensamiento) como técnica metodológica, y por otro, diseñar una propuesta de intervención didáctica para trabajar los contenidos de “La Revolución Genética y sus Consecuencias” en la asignatura de Cultura Científica de 1º de Bachillerato. Para ello se ha investigado en el marco teórico de los antecedentes y bases pedagógicas del *TBL*, las ventajas y desafíos de la metodología, las experiencias previas y los pasos que se pueden seguir para su implementación en el aula. Respecto a los contenidos de genética, se ha investigado sobre las dificultades de aprendizaje más comunes que presentan los alumnos y los posibles temas, estrategias y recursos didácticos para trabajarlos con *TBL*. Basado en los hallazgos de la investigación se ha diseñado una propuesta de intervención en la que se utiliza dicha metodología. Los resultados muestran que la esencia del *TBL* es el concepto de infusión, que implica la enseñanza de destrezas de pensamiento integradas con los contenidos curriculares. Para sacar provecho plenamente de las experiencias mundiales en esta innovación educativa, no se puede limitar al término ‘*TBL*’ recogido en la literatura. Se debe incluir todo método que utilice el término ‘infusión’ en su autodenominación. La propuesta de intervención diseñada permite desarrollar las competencias clave en Ciencia y Tecnología, las Cívicas y Sociales y Aprender a Aprender, ya que favorece el desarrollo del pensamiento complejo y transversal, tanto individual como colectivo. La principal conclusión del trabajo es que los contenidos de la Revolución Genética y sus Consecuencias en la asignatura Cultura Científica de 1º de Bachillerato son muy propicios para fortalecer las destrezas de pensamiento del alumnado, mediante la metodología *TBL* o con métodos emparentados basados en infusión.

Palabras clave: Aprendizaje basado en el pensamiento, Infusión, Genética, Bachillerato, Cultura Científica

Abstract

The general objectives of this work are, on the one hand, to study the methodology Thinking Based Learning (TBL), and on the other hand, to design a proposal for a pedagogical intervention to work on the contents of "The Genetic Revolution and its Consequences" in the course of Scientific Culture in the 1st year of Spanish High School. For these purposes, the following aspects have been investigated in the theoretical framework: the background and pedagogical bases of TBL; the advantages and challenges of the methodology; experiences with its use and the steps to be followed for its implementation. Regarding the contents of genetics, literature research has been carried out on the most common learning difficulties presented by students and the possible topics, strategies and pedagogical resources to apply. Based on the research findings, an intervention proposal has been designed using this methodology. The results show that the essence of TBL is the concept of infusion, which means the teaching of thinking skills being integrated with the curricular contents. To fully benefit from the worldwide experiences in this educational innovation, one cannot limit to the term 'TBL' in the literature. Any method that uses the term 'infusion' in its self-designation might be relevant to consider. The educational intervention designed and presented here is beneficial for the development of several key competences, such as Science and Technology, Civics and Social Competences and Learning to Learn, as it favours the development of complex and transversal thinking skills, both individually and collectively. The main conclusion of this work is that the contents of the "Genetic Revolution and its Consequences" in the course of Scientific Culture in the 1st year of Spanish High School are very apt for training the students' thinking skills, through the TBL methodology or with related methods based on infusion.

Keywords: Thinking Based Learning, Infusion, Genetics, High School, Scientific Culture

Índice de contenidos

1. Introducción	10
1.1. Justificación.....	10
1.2. Planteamiento del problema	13
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos	14
2. Marco teórico	14
2.1. Comentarios preliminares sobre la denominación ' <i>Thinking Based Learning</i> ' (TBL)	14
2.2. Antecedentes y bases pedagógicas del <i>Thinking Based Learning</i> (TBL)	16
2.2.1. La taxonomía de Bloom vista como “prehistoria” del TBL.....	16
2.2.2. Diferentes enfoques de enseñar el Pensamiento Crítico.....	17
2.2.3. La transferibilidad de habilidades cognitivas	18
2.2.4. Reorganización cognitiva.....	18
2.2.5. Resumen de la metodología TBL	19
2.2.6. El argumento de la saturación de los currículos	22
2.3. Ventajas y desafíos en la aplicación de TBL en el aula	22
2.3.1. El impacto de infusión en los contenidos curriculares.....	23
2.4. Propuestas con enfoque de infusión, aplicadas al aprendizaje de ciencias (y otros).....	23
2.5. Pasos a seguir para aplicar el <i>Thinking Based Learning</i> en el aula	25
2.5.1. La selección de temas.....	25
2.5.2. Equilibrio entre contenidos y destrezas de pensamiento.....	26
2.5.3. Evaluación.....	27
2.6. Dificultades de aprendizaje más comunes que presentan los alumnos en el aprendizaje de los contenidos de genética.	27

2.7. TEMAS, estrategias y/O recursos didácticOs que puedan utilizarse para aplicar el TBL en el aula para Genética de Cultura Científica	29
2.7.1. La dimensión histórica.....	29
2.7.2. Coronavirus SARS-CoV-2, el microorganismo que ha causado la actual pandemia	
29	
2.7.3. Proyecto Genoma Humano	30
3. Propuesta de intervención.....	31
3.1. Presentación de la propuesta	31
3.2. Contextualización de la propuesta	31
3.2.1. Marco legislativo	32
3.3. Intervención en el aula	33
3.3.1. Objetivos.....	33
3.3.2. Competencias	34
3.3.3. Contenidos.....	36
3.3.4. Metodología	37
3.3.5. Cronograma y secuenciación de actividades	39
3.3.6. Recursos.....	40
3.3.7. Evaluación.....	54
3.4. Evaluación de la propuesta.....	65
4. Conclusiones.....	66
5. Limitaciones y prospectiva	69
5.1. Limitaciones	69
5.2. Prospectiva.....	69
Referencias bibliográficas.....	70
Bibliografía.....	74

Anexo A. Implementación de TBL en España	76
Anexo B Monitorizar la clase TBL	77
Anexo C Organizadores Gráficos TBL.....	78
Anexo D Texto para la actividad 2: Cita de F. Jacob (1970).....	79

Índice de figuras

Figura 1. Equilibrios entre posibles usos del TIEMPO en una clase.....	26
Figura 2.: Código de colores en las tablas de evaluación.....	55
Figura 3.: DAFO de la Propuesta de Intervención.....	65

Índice de tablas

Tabla 1: Algunos cambios de paradigma en STESEP (Ciencia, Tecnología, Medioambiente, Sociedad, Economía, Políticas; de siglas en inglés) y la Educación e investigación orientada a ellos.....	11
Tabla 2. Cuatro Enfoques para enseñanza de Pensamiento Crítico.....	17
Tabla 3: Bases pedagógicas de TBL	19
Tabla 4. Los propósitos de TBL.....	22
Tabla 5. Algunas Ideas Erróneas de de Estudiantes de Bachillerato sobre Genética.....	28
Tabla 6: Los Contenidos relacionados con los criterios de evaluación, con los estándares de aprendizaje, las competencias clave y los objetivos didácticos de la propuesta.....	36
Tabla 7: Cronograma y secuenciación de actividades.	40
Tabla 8. Ficha de la actividad 1. Conocimientos y Convicciones Previas.....	42
Tabla 9. Ficha de la actividad 2. Lo Asombroso en Mendel	43
Tabla 10. Ficha de la actividad Nr 3. Compara y Contrasta: El sistema genético del Coronavirus con el de un ser Humano.....	44
Tabla 11. Ficha de la actividad Nr 4. ¿Es Natural o Artificial el Origen del Coronavirus?.....	46
Tabla 12. Ficha de la actividad Nr 5 Partes-Todo - La relación del ADN con la célula, el organismo y la población.....	47
Tabla 13. Ficha de la actividad Nr 6. - el concepto “Información”.....	49
Tabla 14. Ficha de la actividad Nr 7. – Mural: Genoma Humano	51
Tabla 15. Ficha de la actividad Nr 8. - Biotecnología	52
Tabla 16. Ficha de la actividad Nr 9. - Ensayo	54
Tabla 17. Lista de Cotejo para la Evaluación de la Actividad 2. (Mendel)	55
Tabla 18. Lista de Cotejo para la Evaluación de la Actividad 3. (Comparar sistemas genéticos)	56
Tabla 19. Rúbrica para la Evaluación de la Actividad 4. (Debate).....	57

Tabla 20. Lista de Cotejo para la Evaluación de la Actividad 5. (Parte-Todo).....	59
Tabla 21. Lista de Cotejo para la Evaluación de la Actividad 6. (Información)	60
Tabla 22. Rúbrica para Evaluación de la Actividad Nr 7. (Mural sobre la Genoma Humana)	61
Tabla 23. Lista de Cotejo para la Evaluación de la Actividad 8. (Biotecnología).....	62
Tabla 24. Rúbrica (o Lista de Cotejo) para la Evaluación de la Actividad 9. (Ensayo)	63

1. Introducción

1.1. Justificación

Hablando sobre los nuevos grados universitarios transversales entre Ciencias, Tecnología y Humanidades, Isabel Gutiérrez Calderón (experta en teoría organizativa y dirección estratégica en la Universidad Carlos III de Madrid) indica que los estudiantes deben “enfrentarse a los nuevos retos que plantea el mundo profesional y social; retos futuros algunos de los cuales aún no podemos imaginar y que son de naturaleza científica, política, social y cultural; es decir, no se limitan a un solo ámbito” (Camarero, 2021). Las habilidades puras de ciencias, o más exactamente lo que se resume con STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Matemáticas – por sus siglas en inglés) en sí ya no bastan. Este llamamiento a **la transversalidad en la educación** es omnipresente en nuestra sociedad, local y globalmente. Es una de las ideas principales para alinear la educación con las necesidades generadas por las transformaciones vertiginosas de la sociedad actual.

Para especificar más aun el abanico de ámbitos involucrados y condensarlo en formulas cortas, se utiliza también la abreviación STESEP (Ciencia, Tecnología, Medioambiente, Sociedad, Economía, Políticas; de sus siglas en inglés). Respecto a las transformaciones requeridas en este multi-ámbito STESEP, Zoller (2015) establece una asociación de las mismas con las diferentes formas de pensar. Lo hace resumiendo los distintos **paradigmas** donde los diferentes tipos de transformaciones están teniendo (o tendrían que tener) lugar, vinculando así claramente conceptos y palabras de aparentemente diferentes marcos en la sociedad y la educación (Tabla 1). En concreto, la tabla muestra las bases y planteamientos actuales de políticas, tipos de pensamiento y contexto educativo con los que debería haber para cubrir con ellos necesidades en el ámbito STESEP.

Tabla 1: Algunos cambios de paradigma en STESEP (Ciencia, Tecnología, Medioambiente, Sociedad, Economía, Políticas; de siglas en inglés) y la Educación e investigación orientada a ellos.

	Desde:	A:
Políticas (sociedad, empresarial)	Crecimiento tecnológico, económico y social a cualquier precio	Desarrollo Sostenible
	Respuestas correctivas	Acciones preventivas
	Viabilidad tecnológica	Viabilidad social y económica; socialmente responsable (accountable)
Tipos de pensamiento (Sociedad, Educación)	Pensamiento “reduccionista”	Pensamiento de sistemas / lateral
	Tratar asuntos de forma aislada o en sistemas cerrados	Tratar sistemas complejos, abiertos
Contexto educativo (Pensamiento y Didáctica)	Enseñanza algorítmica orientada a Habilidades Cognitivas de Orden Inferior (HCOI)	Aprendizaje HCOS (Habilidades Cognitivas de Orden Superior) en contextos de interfaces STESEP
	Enseñar y evaluar saberes (resolver ejercicios aplicando algoritmos)	Aprendizaje conceptual para resolución de problemas y transferencia de lo mismo. Pensar en contextos STESEP
	Enseñanza Disciplinar (física, química, biología, etc.)	Enseñanza Interdisciplinar

Fuente: Modificado de Zoller (2015)

Más allá de la complejidad de todos los conceptos y sus aplicaciones en la sociedad y en la educación, para nuestro fin lo esencial de esta tabla es la nítida **relación entre lo interdisciplinar y el pensamiento complejo**; es decir pensamiento asociado a resolución de problemas; aprendizaje de **habilidades cognitivas de orden superior** (HCOS), tratamiento de sistemas abiertos etc. Lo interdisciplinar requiere obviamente un pensamiento complejo pero planteado al revés, es también certero: **para entrenar habilidades cognitivas de orden superior lo más adecuado es un marco interdisciplinar**.

La afinidad hacia la trasversalidad en la sociedad y en las universidades tiene que fomentarse con actividades desde ya sus antesalas, es decir, la educación secundaria, en particular el bachillerato. En el sistema educativo Español ya existe una asignatura **Cultura Científica**, que en su nombre y contenidos reúne a las Ciencias (incluyendo Tecnología) con las Humanidades, (Real Decreto 1105/2014). Por lo tanto, potencialmente, las actividades que se llevarán a cabo

allí ofrecen una excelente oportunidad para fomentar la transformación de paradigmas en la sociedad. Pero para que sean realmente eficaces, para que hagan un impacto duradero en los alumnos, es imprescindible que los planteamientos de las actividades **inciten al pensamiento complejo**. Simplemente presentar contenidos de varias disciplinas en la misma asignatura no lo hace automáticamente interdisciplinar ni estimula procesos cognitivos de orden superior.

Aquí reside la justificación de la elección de asignatura para este trabajo: por su transdisciplinariedad innata “Cultura Científica” es propicio para la innovación pedagógica dirigido hacia los requerimientos de transformar la sociedad. El curso de bachillerato es lo que más permite acercar los planteamientos de la propuesta de intervención a escenarios reales de la sociedad, por la edad de los alumnos. Entre los contenidos curriculares biológicos para la asignatura Cultura Científica en 1º de Bachillerato, el que más se presta a un tratamiento realmente interdisciplinar y de ello derivado, al pensamiento complejo, es la **Revolución Genética y sus aplicaciones en la Biotecnología**.

Respecto el entrenamiento de habilidades cognitivas de orden superior (HCOS) vamos a recurrir a una reconocida metodología llamada “Aprendizaje Basado en el Pensamiento”, en inglés *Thinking Based Learning*, en adelante TBL (Swartz et. al. 2008). Esta metodología está ya ampliamente implementada en diferentes colegios mundialmente, también en España. Por lo tanto ha figurado regularmente también en la prensa española, por ejemplo en el diario *El Mundo* (Moltó, 2015), y el nombre de la metodología y de Swartz es conocido por un público fuera del ámbito educativo. Haremos uso de sus prácticas, de sus herramientas, es decir incorporamos el TBL como “un módulo” en la propuesta con un doble fin: para ayudar a profundizar en el tratamiento de los contenidos curriculares en las actividades diseñadas y también para explorar el potencial de TBL en los contextos planteados.

A nivel personal la justificación para el trabajo es múltiple. Desde sus estudios universitarios el autor ha sido intrigado por la reflexión sobre la relación entre la molécula de ADN y los distintos contextos en que se puede contemplar: la célula, el organismo, la población, etc. También tiene un interés hacia el concepto de información en sistemas vivos. Finalmente, la reciente pandemia Covid19 ha sido una gran lección sobre la complejidad del mundo, sobre sus extrañas paradojas y la relación entre ciencia y sociedad. Aunque la inmunología tenía el protagonismo, los aspectos genéticos también han sido llamativos. El autor siente curiosidad

para explorar estos aspectos como recurso didáctico en el aula, como objeto de pensamiento crítico.

1.2. Planteamiento del problema

A primera vista la denominación *Thinking Based Learning* es decir “Aprendizaje basado en el pensamiento” puede parecer extraño, incluso trivial. Acaso ¿no requiere cualquier aprendizaje una actividad cerebral consciente, es decir, procesos de pensamiento? Aparentemente cualquier mente despierta está pensando en algo en casi cada instante. Sin embargo, nuestra **manera** de pensar es a menudo muy lejos de ser eficaz. La metodología TBL está diseñada para estructurar y mejorar sustancialmente la calidad de los procesos mentales, para poder explotar mucho mejor el enorme potencial que posea la actividad de pensar, lo cual a su vez ayuda a tomar decisiones mejor fundadas. Por eso se dice que en TBL el aprendizaje está basado en, o sea articulado alrededor del propio proceso del pensamiento.

TBL no es ni la primera ni la única plataforma en el panorama pedagógico contemporáneo donde se da énfasis a los procesos mentales. La metodología TBL no pretende ser revolucionaria en sí, ya que se nutre abiertamente de diferentes modelos educativos evolucionados a lo largo de aproximadamente el pasado medio siglo. Su fortaleza y unicidad reside en sus planteamientos sumamente claros y sistemáticos a la vez que flexibles; siendo su elaboración y puesta en práctica fruto del espíritu norteamericano pragmático. Un primer contacto ameno con la metodología TBL se puede obtener de Swartz (2008b).

Buscando un sustrato con potencial para **practicar el pensamiento crítico y transdisciplinar con TBL**, la genética es una excelente candidata. Veamos porque. El avance revolucionario en nuestros conocimientos sobre la genética, tuvo lugar en la posguerra, en los años 50 y 60 del siglo pasado. (Jacob, 1970; Kay, 2000). A partir de los años 70 se inició la investigación relativa a sus aplicaciones y la comercialización de sus resultados. En el año 2000 se completó el mapeamiento del genoma humano. La secuenciación se hace a día de hoy ya de forma rutinaria por empresas privadas, con fines médicos y no-médicos, con todas las cuestiones complejas de posesión de datos que esto conlleva (Koopman 2020). La actual pandemia de Covid19 ha contribuido considerablemente a difundir conocimientos genéticos en la prensa y ha generado o sacado a luz adicionales problemáticas socio-científicas. En resumen, a pesar

del incremento hiper acelerado de nuestras saberes en este campo, llama también la atención todo lo que todavía es desconocido o muy incierto, lo cual es excelente combustible para la reflexión.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es diseñar una propuesta de intervención didáctica para la asignatura Cultura Científica en 1º de Bachillerato utilizando el TBL (*Thinking Based Learning*) como técnica metodológica.

1.3.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este trabajo son:

- Analizar los antecedentes y las bases pedagógicas del *Thinking Based Learning*
- Conocer las ventajas y desventajas de la aplicación de esta técnica metodológica en el aula.
- Identificar los pasos a seguir para aplicar el *Thinking Based Learning* en el aula.
- Recopilar temas, estrategias y recursos didácticos que puedan utilizarse para aplicar el TBL en el aula.
- Recopilar las dificultades de aprendizaje más comunes que presentan los alumnos en el aprendizaje de los contenidos de genética.
- Recopilar propuestas de TBL aplicadas al aprendizaje de ciencias.
- Diseñar una secuencia de actividades completa basada en el TBL, para trabajar los contenidos relativos a la genética y sus aplicaciones.

2. Marco teórico

2.1. COMENTARIOS PRELIMINARES SOBRE LA DENOMINACIÓN 'THINKING BASED LEARNING' (TBL)

Este capítulo pretende ser una introducción a la literatura académica existente sobre TBL y una justificación de uso de dicho término en este trabajo.

La metodología denominada TBL está asociada con el nombre de Robert Swartz (Filósofo de la Universidad de Harvard y fundador del *National Center for Teaching Thinking*). Swartz

(2008, 2012) ha adoptado una serie de principios educativos y cognitivos y los ha formalizado en técnicas concretas, difundiéndolos bajo la denominación de TBL, término acuñado por él. Para comprender el desarrollo teórico y académico es igualmente imprescindible el trabajo de David Perkins (Universidad de Harvard, Facultad de Educación), el porqué se mostrará en los siguientes capítulos del marco teórico.

A hilo de lo anterior hay dos cosas que se debe tener en mente a la hora de buscar y consultar la literatura que nos ocupa aquí.

Primero: Aunque Perkins da su apoyo abierto a los trabajos prácticos y divulgativos de Swartz (véase por ejemplo un breve prólogo en Swartz et al. 2008), él mismo no utiliza el propio término 'TBL' en sus artículos académicos.

Segundo: Los mismos principios educativos que guían al TBL han sido recogidos y aplicados también por otros investigadores, algunos de los cuales no mencionan nunca ni el término 'TBL' ni los trabajos de Robert Swartz, pero sí claramente a Perkins. El ejemplo más importante son los trabajos de Anat Zohar y Pinchas Tamir (Zohar, 2008), quienes han llevado a cabo una implementación profunda de la metodología en el sistema educativo de Israel. Los resultados de Zohar y colaboradores pertenecen al mismo ámbito pedagógico que el TBL y serán considerados en el Marco Teórico de este trabajo.

En resumen, 'TBL' no es una denominación estrictamente académica sino más bien operacional, incluso comercial (véanse algunos comentarios en el Anexo A). Aunque el término no se utilice de forma homogénea en un contexto teórico y de literatura, hemos optado por utilizarlo en el título y contenido de este trabajo, incluyendo en él "la metodología TBL y metodologías estrechamente emparentadas con ello".

La razón de usar el término es fundamentalmente práctica, con una doble motivación: Por la posibilidad de identificación rápida y comprimida de lo que estamos tratando en el trabajo y para llegar mejor a potenciales lectores, ya que 'TBL' es de momento, una expresión conocida en ámbitos educativos en el mundo hispanohablante.

2.2. ANTECEDENTES Y BASES PEDAGÓGICAS DEL *THINKING BASED LEARNING* (TBL)

2.2.1. La taxonomía de Bloom vista como “prehistoria” del TBL

Uno de los primeros sistemas para clasificar procesos de pensamiento y aprendizaje es La Taxonomía de Bloom de 1956, que sigue siendo ampliamente utilizada con actualizaciones hechas en los años '90 (Forehand, 2010). En la Taxonomía se distingue entre procesos cognitivos de orden **inferior** (Recordar y Comprender) y procesos cognitivos de orden **superior** (Aplicar, Analizar, Evaluar y Crear). Además de sistematizar, la Taxonomía de Bloom proporciona palabras claves para cada fase, verbos, sustantivos y preguntas, lo cual es una ayuda valiosa para diseñar ejercicios dirigidos a desarrollar cada categoría de actividad mental. Como vimos en la justificación del trabajo (Tabla 1), fomentar los procesos mentales de orden superior está en la médula de lo que se requiere de los ciudadanos en el siglo XXI, tanto en la educación como en la sociedad.

Siendo una herramienta ampliamente conocida y respetada mundialmente en contextos educativos, por ejemplo, en el Bachillerato Internacional (Swartz y McGuinness, 2014), la Taxonomía de Bloom es un punto obligatorio de partida en cualquier reflexión sobre metodologías dirigidas a desarrollar habilidades cognitivas.

No obstante, la palabra “taxonomía” requiere cautela. Es una metáfora prestada desde la biología, donde significa “la ordenación jerarquizada y sistemática, con sus nombres” (RAE Taxonomía, s.f.) de seres vivos, es decir, de las diferentes especies. En las ciencias biológicas tiene un significado muy concreto con un valor operativo incuestionable. Sin embargo, los diferentes tipos de pensamiento no se pueden agarrar y clasificar con la misma concreción que las especies biológicas. Los marcos para clasificar procesos mentales siempre han sido y serán objeto de reinterpretación en la luz de los avances en las ciencias cognitivas y los cambios en costumbres culturales de diferentes épocas. En las corrientes modernas de teorías educativas, que entre otras cosas han cristalizado en la metodología TBL, no hay ya una fuerte jerarquización de procesos de pensamiento (Zohar y Nemet, 2002, p. 36). La adquisición de saberes factuales básicos y el entrenamiento de habilidades cognitivas no se separan (Resnick y Klopfer, 1989, p. 2) sino que se tratarán simultáneamente.

2.2.2. Diferentes enfoques de enseñar el Pensamiento Crítico

Ennis (1989) define al pensamiento crítico como “razonable pensamiento reflexivo enfocado en decidir qué creer o hacer”. A lo largo de la década de los 80 y 90 del siglo pasado, cuestiones sobre la integración real, es decir práctica, de esta destreza en la educación, recibió gran atención desde diferentes ángulos en los Estados Unidos en parte debido a la labor de la ASCD, la Asociación para Supervisión y Desarrollo Curricular (Swartz, 2012). La ASCD dedica una monografía al asunto en 1989, bajo el título “Hacia el Currículo de Pensamiento: Investigación Cognitiva Contemporánea”, cuyo primer capítulo es una perspectiva general del tema (Resnick & Klopfer, 1989). Entre las principales cuestiones estructurales, figura una pregunta que es fundamental para entender lo que luego se vertebrará como TBL: ¿cómo relacionar habilidades cognitivas con contenidos curriculares?

A grandes rasgos, hay cuatro diferentes maneras de hacerlo, resumidos en la tabla 2.

Tabla 2. Cuatro Enfoques para enseñanza de Pensamiento Crítico.

	¿Hace explícito a principios generales de pensamiento ?	¿Utiliza contenido curricular ?	¿ Solamente utiliza contenido curricular?
GENERAL	Sí	No	No
Mezclado	Sí	Sí	No
INFUSIÓN	Sí	Sí	Sí
Inmersión	No	Sí	Sí

Fuente: Modificado de Ennis (1989)

Pueden relacionarse a través de programas que enseñan destrezas cognitivas de manera **general**, es decir independientemente (*'stand-alone'*) de los contenidos curriculares, con materiales traídos solo para este fin. O se pueden aplicar los propios contenidos curriculares para la enseñanza de habilidades cognitivas. Estos métodos a su vez, pueden incluir comentarios explícitos sobre las estrategias de pensamiento, llamado enfoque por **infusión**, o no hacer explícita la parte cognitiva, llamado enfoque por **inmersión**. Tanto infusión como inmersión utilizan pues **solamente** materias curriculares, pero tratadas con enfoques y técnicas que fomentan el pensamiento crítico. El enfoque mezclado representa una mezcla de contenidos curriculares con material adicional sobre cognición. El debate académico sobre beneficios y desventajas de estos cuatro enfoques es extenso. En el siguiente capítulo veremos un aspecto central de este debate que contribuyó al surgimiento del TBL.

2.2.3. La transferibilidad de habilidades cognitivas

Una pregunta esencial es si las habilidades cognitivas adquiridas en un área de conocimientos son transferibles o no a otras áreas. Perkins y Solomon (1989) ha formulado esta pregunta así: *¿Están las Habilidades Cognitivas atadas a un contexto?* Los autores sitúan la pregunta en un contexto histórico y hacen una valoración visionaria del estado de la cuestión. La problemática surgió en círculos matemáticos en los años 50, pero en seguida estuvo claro que su relevancia era muy amplia. Los hallazgos y consecuentes convicciones de los investigadores de cognición oscilaban entre el ‘sí’ y el ‘no’ a lo largo de los años 60 y 70. En los 80 (y 90) parecía haber un consenso cada vez más firme en la comunidad de investigadores de cognición y educación sobre la posibilidad de la transferibilidad de las habilidades cognitivas, pero **solamente si se cumplen determinadas condiciones**. Uno de estas condiciones es el de recibir instrucción explícita y ser consciente de los procesos cognitivos (Ennis, 1989; Perkins y Solomon 1989), por ejemplo, hablando de voz alta sobre los procesos mentales mientras ocurren. Otro requerimiento es la variedad de contextos diferentes (Perkins y Solomon 1989). De los cuatro modelos o enfoques vistos arriba, es el de **infusión** el que mejor parece cumplir con los requisitos, es decir es el que parece ser más adecuado para conseguir la transferibilidad de las destrezas de pensamiento adquiridas. La mayor eficacia del enfoque de infusión sobre enfoques generales ha sido confirmada por estudios cuantitativos, por ejemplo, de Sanz de Acedo Lizarraga et al. (2009).

La infusión es pues el núcleo de la metodología TBL (Swartz 2012). ¿Qué más elementos forman la base del método?

2.2.4. Reorganización cognitiva

Perkins y Grotzer (1997) consideran la enseñanza de la inteligencia (de la inteligencia enseñable) como **reorganización cognitiva**. Basado en estudios de otros investigadores, los autores identifican 5 categorías, es decir, cinco direcciones conceptuales para conseguirlo. La Tabla 3 resume estas categorías, las explica brevemente y señala como se concretizan en la programa de instrucciones llamado TBL.

Tabla 3: Bases pedagógicas de TBL.

CATEGORÍAS DE REORGANIZACIÓN COGNITIVA	EXPLICACIÓN	HERRAMIENTAS correspondientes en la metodología TBL
ESTRATEGIAS	Proporcionar patrones contra pensamiento precipitado, restringido o confuso	Mapas Mentales de Pensamiento
METACOGNICIÓN	Monitorizar y manejar el pensamiento	-Hablar explícitamente sobre procesos de pensamiento -Lenguaje de Pensamiento: exacto y consecuente.
DISPOSICIÓN	Convertir el pensamiento eficaz (lo que no es precipitado, restringido o confuso) en costumbre	Hábitos de la Mente, conseguir mejoras
COGNICIÓN DISTRIBUIDA (Sistemas de soporte externas a la mente)	Social (Pensamiento en equipo)	Interacción entre alumnos: -En el proceso de reunir y procesar la información -Consolidación de los resultados de pensar
	Física/Simbólica	Organizadores Gráficos
TRANSFERENCIA	(véase capítulo 2.2.3)	-Infusión es el enfoque que mejor cumple -Mención oral explícita de la transferencia como parte de las instrucciones que se dan

Fuente: Modificado de Perkins y Grotzer (1997) y Swartz et al. (2008)

Un factor adicional que se debe mencionar es el potencial **motivador** de la cognición: reflexionar sobre algo interesante puede captar mejor la interés del alumnado que ejercicios rutinarios.

2.2.5. Resumen de la metodología TBL

En el capítulo anterior se han visto el origen de los conceptos de TBL. A continuación se ofrece una guía práctica para los que quieren trabajar con el método. El capítulo se basa en Swartz et al. 2008.

Los siguientes elementos son los que forman la esencia de la metodología TBL.

- A: Enfoque de Infusión
- B. Utilizar Mapas estratégico de pensamiento
- C. Utilizar Organizadores Gráficos
- D. Interacción social
- E. Usar lenguaje del pensamiento
- F. Desarrollar Hábitos de Mente (HdM)

G. Evaluación formativo, en ciclos.

A. Las técnicas de pensamiento se enseñan y se practican estrechamente **vinculadas a los contenidos** de la asignatura. No de forma separada. A esta vinculación se llama infusión. (véase capítulo 2.2.2)

B. La utilización de una herramienta llamada '**Mapa estratégico de pensamiento**'. Se trata de una lista corta y sencilla de preguntas que guían y estructuran el pensamiento sobre el tema dado. Como primer ejemplo ilustrativo Swartz et al. (2008) muestran cuatro pasos recomendados para pensar sobre la relación partes-todo (p. 55):

- ¿Qué partes forman el objeto?
- ¿Qué ocurriría si faltara cada una de estas partes?
- ¿Qué función tiene cada una de estas partes?
- ¿Cómo interaccionan las distintas partes para que el objeto sea como es y haga lo que hace?

Por ejemplo para la comprensión de nuestra materia podemos diseñar un mapa de pensamiento donde el todo es la célula y los partes son la membrana, la citoplasma, los ribosomas y el ADN. Otro posible ángulo sería el cuerpo humano como *todo*, de lo cual el ADN es parte. Una tercera posibilidad sería una población como *todo*.

Las preguntas en la mapa están siempre pensadas como **guía**, se anima a introducir modificaciones en las preguntas si se ve necesario.

Otros ejemplos de mapas estratégicos de pensamiento son:

- compara y contrasta reflexivamente
- predecir la probabilidad de eventos futuros
- toma de decisiones
- resolución de problemas

Cada mapa de pensamiento tiene su secuencia de preguntas, como se ha acabado de ver con el ejemplo “relación partes-todo”.

C. Utilizar un **Organizador Gráfico** donde las preguntas de los mapas se contestan e interrelacionan de forma visual .

D. Se da gran importancia al **interacción social** con los otros alumnos. Tanto en el proceso de reunir y procesar la información como en la hora de consolidar el resultado. Se debe escuchar al otro con compasión y empatía. A final de cada ejercicio se puede juntar los resultados de todos los individuos (o subgrupos) de la clase para sacar los beneficios de un pensamiento colectivo. Este aspecto de la metodología lo emparenta con metodologías didácticas colaborativas.

E. La importancia del uso de un **lenguaje exacto y consecuente** en la aula, considerado **el lenguaje del pensamiento**. Se deben evitar palabras imprecisas como “creer”, “parecer”, “poder saber” en las preguntas, instrucciones y análisis. En lugar de ellos siempre se deben utilizar términos que designan procesos y acciones mentales concretos, por ejemplo “prever”, “deducir” o “evaluar”.

F. Con el tiempo se trata de convertir los ejercicios de pensamiento en **hábitos de mente**. Contemplando con este horizonte, los mapas estratégicos de pensamiento y los organizadores gráficos se pueden considerar **andamios (scaffold)**. Con el paso de tiempo se puede tirar el andamio. Cuando el pensamiento eficaz llega a ser automática debe ocurrir solo, siempre.

G. El proceso de **Evaluación** da énfasis al valor formativa de lo mismo, para el propio proceso educativo.

La evaluación se considera un espiral, donde cada ciclo (aro) consiste en los siguientes cinco pasos: 1.Revisar/Aclarar objetivos/propósitos => 2.Planificar => 3.Actuar => 4.**Evaluar**, reunir pruebas => 5.Modificar acción a base del nuevo conocimiento => volver a empezar (Revisar objetivos etc.)

El primer ciclo se considera primer borrador de aprendizaje del proceso, la recomendación es no pensar demasiado los detalles sino lanzarse. Luego ir evaluando y ajustando en las reiteraciones.

Estos siete puntos (A-G), extraídos de Swartz et al. (2008) son los que consideramos el esqueleto de la metodología y vertebran la propuesta de intervención (capítulo 3).

2.2.6. El argumento de la saturación de los currículos

Varios de los métodos con enfoque general también han sido evaluados positivamente, tal como se resumen en Perkins y Grotzer (1997). Pero muchos currículos están ya saturados de contenidos y no permiten encajar materiales adicionales solamente para enseñar cognición de forma general. Swartz (2012) considera este hecho clave para el éxito del enfoque de infusión. El mismo argumento es también sostenido por Perkins (2017) en sus trabajos más recientes (p. 197).

2.3. VENTAJAS Y DESAFÍOS EN LA APLICACIÓN DE TBL EN EL AULA

Los esperados beneficios de TBL se resumen en la Tabla 4. La mejora simultánea en el pensamiento de los alumnos y en su aprendizaje de los contenidos es consecuencia del enfoque de infusión. Lo cual bien edificado, debe asegurar la transferencia, es decir, el buen uso del pensamiento debe seguir intacto a largo plazo, tras dejar a la escuela, en el ámbito personal, social y laboral. Estas expectativas se derivan de los principios repasados a lo largo del capítulo 2.2.

Tabla 4. Los propósitos de TBL.

En la Escuela, MEJORAN:		Tras dejar la Escuela, continua el buen uso del pensamiento
El pensamiento de los alumnos	El aprendizaje de los contenidos	<p>→ en el día a día (como ciudadanos)</p> <p>→ en el trabajo (como profesionales)</p>
1	2	3

Fuente: Modificado de Swartz (2012)

Muchos testimonios son entusiastas respecto a la parte inmediata, los puntos 1) y 2) en la Tabla 4 (Schwartz, 2012). Varias experiencias en España (Anexo A.) son también favorables. Sin embargo, el propio Schwartz (2012) ha expresado que no hay suficientes estudios cuantitativos que evalúen el éxito inmediato del TBL, por no hablar del de largo plazo, el punto 3). A día de hoy (2021) tampoco existen muchos estudios directamente etiquetados como 'TBL'. Otra carencia de mucha literatura 'TBL' es la falta de enumerar y analizar expresamente los desafíos o riesgos de la implementación del método. Por lo tanto, tal como se advertía en el capítulo 2.1, se hace necesaria una apertura de la mirada hacia otras experiencias emparentadas. Desde luego, la ecuación que Swartz (2012) pone entre 'infusión' y 'TBL' (p. 11) no es correcta, ya que por ejemplo Zohar también llama explícitamente su trabajo infusión sin referirse al TBL (Zohar y Nemet, 2002; Zohar, 2008; Zohar y Cohen, 2016)). Luego en

publicaciones de Zohar y colaboradores sí encontramos la confirmación **cuantitativa** del éxito del método infusión y también preocupaciones explícitas sobre las condiciones de implementación. Los desafíos están expresados y analizados en el contexto de la implantación en nivel nacional, pero sí son pertinentes para este trabajo. Se verán en el capítulo 2.3.1 y 2.4.

2.3.1. El impacto de infusión en los contenidos curriculares

Según Swartz (2012) el enfoque de infusión “deja intacto al contenido curricular” (p 11). Aunque el impacto no sea tan grande como el de encajar un método general, pretender que la infusión no afecte nada al currículo es discutible. Perkins y Grotzer (1997), aunque son sumamente favorables hacia la infusión, sí han señalado también sus riesgos: **la parte infusionada puede perderse de vista, por falta de tiempo o por no llegar a ser suficientemente clara para tener efecto en los alumnos.**

Conscientes de estos riesgos, cuando implementaron el enfoque de infusión con pensamiento crítico en la asignatura educación ciudadana en Israel en nivel nacional, redujeron el currículo en un 20%, a pesar de haber subido también el número de horas de la asignatura considerablemente. (Zohar y Cohen, 2016, p. 90).

2.4. PROPUESTAS CON ENFOQUE DE INFUSIÓN, APLICADAS AL APRENDIZAJE DE CIENCIAS (Y OTROS)

Siew y Mapeala (2016) han publicado uno de los estudios cuantitativos recientes aplicando TBL en la enseñanza de física. Se compara el efecto de la metodología en 270 alumnos de 11 años dividido en tres grupos iguales: en el primero se utilizan mapas de pensamiento incluyendo TBL, en el segundo se incluía también TBL pero sin mapas de pensamiento y en el tercero, se impartieron clases convencionales. Los programas fueron de 18 horas. Los autores reportaron efectos significativos de mejora del pensamiento crítico entre los tres grupos, evidenciando que con la aplicación de TBL el resultado era mejor que con la metodología convencional y más efectivo aún con la inclusión de mapas de pensamiento.

En un meta-estudio Zulkpli et al. (2017) revisaron 10 artículos con investigaciones sobre el enfoque de infusión en enseñanza del pensamiento, llevadas a cabo en el periodo 2006-2014 y siendo tres de ellos específicos sobre enseñanza de ciencias. Basado en los resultados favorables en todos los estudios, los autores recomiendan claramente la implementación de la infusión en el sistema educativo de Malasia. Valorar conjuntamente los estudios

investigados tiene valor en sí, ya que muestra la atención que reciben las metodologías de infusión, y al mismo tiempo la falta de críticas hacia los estudios existentes o la metodología en sí, lo cual es también una carencia en este trabajo. Una visión más matizada es ofrecida por Gallagher et al. (2012) dando una síntesis de las experiencias aplicadas en Irlanda del Norte, Nueva Zelanda e Israel. Las autoras dan énfasis a la necesidad de considerar cambios del currículo (contenidos, metodologías etc.) **en paralelo con** programas de formación del profesorado y con alinear los sistemas de evaluación. Indagar en formas de implementación a nivel nacional no está incluido en el alcance de este trabajo, pero las visiones nacionales sí son relevantes para perspectivar nuestra propuesta, sobre todo la experiencia israelí (tratada con más detalle en Zohar 2008 y 2010). Visto las complejidades técnicas, administrativas y políticas que rodean a la implantación sistemática de la infusión en los currículos nacionales, la propuesta de una unidad didáctica puede parecer ingenua. Sin embargo, sí consideramos un valor heurístico en poder experimentar la infusión, tanto para alumnos como docentes. Estas experiencias pueden ser las que diseminen el camino a implementaciones más amplias de la infusión. (Con TBL o con otro método.)

Otra razón para incluir aquí dichas experiencias es fomentar la conciencia en el lector de este trabajo sobre los antedichos países, donde investigaciones y publicaciones cuantitativas pueden tener lugar en un futuro próximo. De allí podemos pues esperar más resultados para valorar aún mejor los efectos de la infusión.

Directamente relevante para el presente trabajo, es el estudio de Zohar y Nemet (2002), donde la segunda autora diseñó la unidad didáctica “Revolución Genética” basada en los principios de infusión, la cual se impartió a 99 alumnos en varias clases de noveno (15 años) en Israel. Para poder comparar, otras clases (total 87 alumnos) recibieron formación de los mismos contenidos genéticos, pero con un libro de texto estándar y ejercicios solamente dirigidos a la comprensión. Ambas unidades eran de 12 lecciones. Los alumnos en todas las clases eran heterogéneos respecto a su procedencia socioeconómica y habilidades.

Antes y después del ciclo de clases, ambos grupos fueron sometidos a diferentes pruebas. En el grupo experimental hubo una mejora significativa respecto los conocimientos de la materia y en habilidades de argumentación, tanto en dilemas relacionados con genética como en dilemas de la vida cotidiana. Es decir, se mostró lo que hemos visto en la Tabla 4, columna 1) y 2), y también se pudo observar la transferencia de competencias, por lo menos a corto plazo.

Hay un aspecto de este estudio clave de Zohar y Nemet (2002) que necesita mención explícita: las medidas para la calidad de argumentos. Esta tarea se lleva a cabo valorando si las respuestas están o no justificadas, y en caso de estarlo, si los están con una, con dos o con más justificaciones. También se cuantifica el nivel de complejidad de la argumentación en las respuestas. Estas consideraciones serán importantes en el diseño de instrumentos de evaluación de la propuesta (capítulo 3).

2.5. PASOS A SEGUIR PARA APLICAR EL *THINKING BASED LEARNING* EN EL AULA

Para conseguir los propósitos de TBL (tabla 4) hay dos aspectos que requieren suma atención a la hora de planificar y ejecutar las clases: la selección de temas para tratar en los ejercicios y el equilibrio entre contenidos y procesos de pensamiento en las clases. Ambas derivan de lo comentado en los capítulos anteriores.

2.5.1. La selección de temas

Para realmente poder entrenar las destrezas de pensamiento es imprescindible que las clases tengan preguntas cognitivamente desafiantes, que a la vez sean motivadoras para los alumnos. Puede tratarse de problemáticas conflictivas o escenarios que apelan a la imaginación. También deben de ser escenarios con abundantes argumentos racionales, para que los alumnos tengan suficiente terreno mental donde desenvolverse durante los ejercicios diseñados. Dicho de otro modo: los posibles argumentos forman el sustrato de la reflexión, el debate, la decisión, etc., por eso hay que cuidar que el tema elegido los tenga. Para ilustrar posibles consideraciones en la selección de temas, vamos a anticipar el área de intervención de este trabajo: la genética. Los contenidos genéticos fijados por los currículos permiten cierta libertad al profesor en la elección del enfoque. Aiveló y Uitto (2019) han observado que algunos profesores de biología obvian la parte humana de la genética, para evitar así incomodidades causadas por ejemplo por desigualdades en los talentos heredados. Para justificar tal postura, estos profesores han recurrido al argumento “el humano es solamente una especie”. Nuestro planteamiento debe ser todo lo contrario en la hora de elegir temas y enfoques TBL. Para fomentar el pensamiento crítico y creativo en el aula, debemos justamente buscar puntos de contacto entre la materia de la asignatura y el interés personal del alumnado, sin miedo a las incomodidades.

2.5.2. Equilibrio entre contenidos y destrezas de pensamiento

Para evitar los riesgos que vimos en el capítulo 2.3.1 (Perkins y Grotzer, 1997) se debe mantener un equilibrio adecuado en las clases de TBL entre los factores resumidos en la Figura 1.

Figura 1. Equilibrios entre posibles usos del TIEMPO en una clase.



Fuente: Elaboración propia

La parte izquierda del triángulo representa el tiempo que el docente dedica a explicar los contenidos (abajo), en los que debe infusiónar explicaciones sobre destrezas de pensamiento (arriba). La parte derecha es el tiempo donde los alumnos están activos: hablando o pensando activamente, en interacción social u otras actividades. El triángulo representa la totalidad del tiempo disponible en el aula, es decir el conjunto de lo que se debe repartir adecuadamente. Para evitar el riesgo de perder alguna parte, recomendamos la monitorización del tiempo en una tabla sencilla (Anexo B).

También es recomendable monitorizar el progreso individual de los alumnos (hasta cierto punto), para no perder a nadie ni en contenidos ni en destrezas mentales (Anexo B).

2.5.3. Evaluación

En línea de todo lo anterior, los instrumentos diseñados para la evaluación también deben tomar en consideración las destrezas de pensamiento complejo, que ha ocurrido a través de la apropiación de los contenidos. Además, debe incluir medidas de la calidad de argumentos, como se ha visto arriba (Zohar y Nemet, 2002).

2.6. DIFICULTADES DE APRENDIZAJE MÁS COMUNES QUE PRESENTAN LOS ALUMNOS EN EL APRENDIZAJE DE LOS CONTENIDOS DE GENÉTICA.

Un estudio profundo y amplio sobre ideas erróneas de estudiantes de bachillerato es el de Mills Shaw et al. (2008). Se basa en un concurso de ensayo sobre temas genéticos para alumnos de bachillerato en Estados Unidos en 2006-2007, donde han seleccionado y analizado 500 de los casi 2.500 ensayos recibidos. La Tabla 5 muestra algunos de sus resultados. Aunque el estudio es de hace 15 años y no de España, los patrones que vemos son suficientemente generales para asumir dificultades de comprensión semejantes en nuestro país, a día de hoy. Consideramos particularmente relevantes para el presente trabajo a los errores que tienen repercusión social, destacando el **determinismo genético** (la convicción que los genes determinan todo). La postura científica actual es que los genes son únicamente uno de los múltiples factores que en conjunto determinan los rasgos de un ser vivo, ya que por ejemplo, factores epigenéticos y ambientales también tienen un rol importante. Por lo tanto, el determinismo genético no tiene bases científicas. Esta creencia puede desembocar en un pensamiento y comportamiento equívoco con consecuencias negativas. Santos et al. (2012) consideran que la prevención de esta falsa creencia es una misión importante dentro de la enseñanza de genética. Señalan su vinculación con el generalmente incuestionado uso de la metáfora de información en biología. “El ADN llega a ser un especie de reservorio desde donde toda la información en la célula fluye, y a donde últimamente se reduce” (p. 551). Como remedio, recomiendan aclarar meticulosamente la coexistencia de diferentes visiones de lo que es un gen, según el contexto. Un gen puede ser **un concepto instrumental** cuando se habla de la herencia de rasgos (lo que era para Mendel) o puede ser **una entidad con realidad física** cuando se habla de la función molecular celular. Por otro lado, el modo de su realidad física tampoco es estático. Tras analizar 16 libros de texto brasileños, los autores llegan a la

conclusión que los diferentes modelos del concepto gen a menudo se entremezclan, causando confusión en los alumnos. Recomiendan también un planteamiento histórico para desenredar los diferentes modelos.

Tabla 5. Algunas Ideas Erróneas de de Estudiantes de Bachillerato sobre Genética.

TEMA	IDEA ERRONEA	EXPLICACIÓN ADICIONAL
NATURALEZA de los GENES y MATERIALES GENÉTICAS	Definición incorrecta de ADN, Cromosoma, Gen	A veces la definición es intercambiada
	Falta conciencia de elementos que controlan la expresión	
	ADN y seres vivos	Idea que ADN falte en bacteria y organismos sencillos Aunque todos seres vivos tienen ADN los mecanismos de control varían
ÍNDOLE DETERMINISTICA de los GENES	Los genes determinan todos los caracteres	
	Falta influencia del ambiente	
	Un gen - Un carácter	En mayoría de casos múltiples genes influencian cada carácter
PATRONES DE HERENCIA	Tipos de herencia	dominante/recesivo
	Tecnología puede prevenir la herencia de genes de enfermedad	
BASE GENETICA de los ENFERMEDADES	Igualdad entre enfermedad hereditaria y genética	El cáncer p.ej. es resultado de errores genéticos, pero rara vez hereditaria
TECNOLOGÍA GENÉTICA	Fin de la investigación genética es curar enfermedades	El fin directo es mejorar la comprensión molecular (que solamente a largo plazo llevará quizás a curar enfermedades)

Fuente: Modificado de Mills Shaw et al. (2008)

2.7. TEMAS, ESTRATEGIAS Y/O RECURSOS DIDÁCTICOS QUE PUEDAN UTILIZARSE PARA APLICAR EL TBL EN EL AULA PARA GENÉTICA DE CULTURA CIENTÍFICA

2.7.1. La dimensión histórica

Retomamos del capítulo anterior la recomendación de la historia como recurso didáctico. Fernández et al. (2005) señalan que una visión descontextualizada y ahistórica de las ciencias, lo que no toma en consideración a los obstáculos que había que superar para llegar a donde estamos, puede conducir a una percepción simplista del presente y una deformación en la concepción de posibles futuros de la ciencia y de la tecnología. Uno de los recursos para remediar este peligro podrían ser extractos del libro del Premio Nobel Francois Jacob (1970) “La lógica de lo viviente. Una historia de la herencia.” Se trata de un testimonio único que pone en perspectiva reflexiva a los acontecimientos de los cuales el autor era uno de los protagonistas. En el momento de su aparición el libro ha sido reseñado por Michel Foucault, uno de los filósofos más influyentes en varias disciplinas humanísticas hasta el día de hoy, con las siguientes palabras: “Es la más extraordinaria historia de la biología jamás escrita, e **invita además a un gran reprendizaje del pensamiento.**” (Foucault, 1970). Esta frase, sabiendo la talla del reseñado y el reseñador, es una contundente manifestación sobre el potencial didáctico de la historia de la ciencia, en concreto de la genética. El libro es una rica cantera de ideas para ejercitar el pensamiento, por ejemplo: ¿Por qué la comunidad científica ha tardado 35 años en darse cuenta de la importancia del trabajo de Mendel? Un imperativo derivado de este hecho: hay que estar siempre alerta a observaciones que ahora no se alinean con el pensamiento corriente, pero pueden preanunciar el siguiente cambio de paradigma. Un imperativo en línea con nuestro deber postmoderno de educar a lo desconocido.

El desciframiento del código genético (Kay, 2000) es otro episodio con buen potencial didáctico, para entender el surgimiento de la metáfora de información.

2.7.2. Coronavirus SARS-CoV-2, el microorganismo que ha causado la actual pandemia

La pandemia de Covid19 ha causado innumerables muertes y daños de salud en España y mundialmente, además de daños psicológicos, económicos, etc. No obstante, justamente por su amplio impacto y las condiciones extraordinarias que ha creado, la pandemia ofrece valiosas oportunidades de aprendizaje que se pueden y se deben aprovechar.

2.7.2.1. El sistema genético del virus

La consideración del sistema genético de cualquier virus puede ayudar a comprender mecanismos básicos aplicables a células de organismos complejos, también el de células humanas. Por lo tanto podemos usar el sistema relativamente sencillo del coronavirus para transmitir el mensaje que **todos los genes codifican proteínas**, y subrayar que este es el único mecanismo que conduce a rasgos en otros niveles organizativos. Thörne y Gericke (2014) han observado que esta conexión no es suficientemente explícita en las explicaciones e instrucciones de los profesores que han estudiado. De allí viene una de las concepciones erróneas de los alumnos: que los genes se traduzcan directamente a rasgos, sin los pasos intermedios.

2.7.2.2. Origen y Evolución del Coronavirus SARS-CoV-2

Mead et al. (2017) han mostrado que relacionar genética y evolución en la enseñanza a alumnos en la edad de 14-16 años mejora el entendimiento de ambos campos. Por lo tanto, para la enseñanza de la genética el surgimiento y posterior evolución del virus es particularmente interesante como recurso didáctico: para profundizar en los alumnos la comprensión de los mecanismos biológicos. Por otro lado, el origen del coronavirus es un tema polémico (Holmes et al. 2021) que se presta bien al debate. Eso es útil para la metodología TBL.

2.7.3. Proyecto Genoma Humano

Es un tema que está explícitamente incluido en el currículo y también se presta bien para reflexión crítica y debate.

3. Propuesta de intervención

3.1. Presentación de la propuesta

Para preparar a los alumnos a un mundo cada vez más ambiguo, la educación escolar del siglo XXI debe también enseñar destrezas de pensamiento. La mejor manera de hacerlo es amalgamada íntimamente con los contenidos curriculares, tal como ha sido revelado por investigadores y educadores de los últimos lustros del siglo pasado (véase el Marco Teórico). Tenemos pues un camino trazado para esta tarea vital, pero se necesitan muchas y diversas prácticas en las aulas para explorarlo a fondo. La propuesta de intervención que se presenta aquí se inscribe en este afán.

Por su currículo multidisciplinar, la asignatura Cultura Científica se presta bien a ser una “asignatura de laboratorio mental” para una propuesta de este tipo. Dentro de ello, el terreno de la genética es idóneo para afilar destrezas de pensamiento, por ofrecer problemáticas complejas y cognitivamente desafiantes.

La presente unidad didáctica lleva por título “**Genes para Pensar**”, se enmarca dentro de la programación general del área de Cultura Científica, correspondiente al curso 1º de Bachillerato.

Su ubicación dentro de la programación, la sitúa antes de la unidad denominada “Un mundo digital” y después de la denominada “Vivir más, vivir mejor”.

Su duración total es de 12 sesiones (una sesión equivalente a 55 minutos).

Para abordar esta UD se requiere tener conocimientos de Genética y de Evolución correspondiente al currículo de Biología en 4º de la ESO. También es necesario que sean familiarizados con el concepto de un virus. En la forma actual del UD se utiliza un artículo en inglés, por lo tanto el dominio de este idioma es también una condición.

3.2. Contextualización de la propuesta

La propuesta está diseñada para un Centro educativo de Educación Secundaria y Bachillerato en la ciudad de Madrid. El urbe es una metrópolis importante en nivel mundial, con todos los desafíos y riquezas que trae la globalización. El Centro se encuentra fuera del casco histórico de la ciudad, pero todavía dentro de la M30, la autopista de circunvalación que de cierto modo

representa una línea divisoria. El barrio tiene una moderada inmigración sobre todo de Latinoamérica y de países europeos, que se refleja en el alumnado. La mayoría de las familias de los alumnos del centro son de clase media, relativamente estables. Menos de 5% de los alumnos tienen sus padres divorciados. La proporción de padres sin empleo tampoco supera el 5% de los alumnos.

El Centro tiene Primaria, ESO y Bachillerato, 4 líneas. Cuenta con un patio medianamente grande, con jardín, laboratorios de ciencias y una sala de ordenadores. Las instalaciones deportivas son básicas.

El grupo en concreto a lo cual va dirigida la propuesta son de primero de bachillerato, con un total de 24 alumnos, de los cuales 14 son chicas y 10 chicos. Ninguno es repetidor, por lo tanto, todos los estudiantes están en la edad de 16-17 años. La mayoría han superado ya la fase más conflictiva del comienzo de la adolescencia. Naturalmente todos siguen teniendo los retos propios de su edad, por ejemplo la búsqueda de su identidad y el relacionarse con el sexo opuesto, pero la mayoría muestran amplia curiosidad hacia el mundo que les rodea y de forma general están volcados en sus estudios. Casi la mitad de los que han elegido Cultura Científica este año piensan ya que querrán seguir estudios superiores relacionados con biología. Todos los alumnos de la clase han acudido al mismo Centro el curso anterior, y todos tenían biología y geología de 4º de la ESO, con el mismo profesor que imparte este UD, lo cual facilita edificar encima de los conocimientos allí adquiridos. Ya que el Centro es bilingüe para la ESO, se dan las ciencias en Inglés. Por lo tanto los alumnos están acostumbrados a trabajar con materiales también en inglés.

La familia de uno de los alumnos es de Ecuador, y la de una de las alumnas es de Bulgaria, pero ella ha llegado a España en una temprana edad y domina el castellano prácticamente como un nativo. Tampoco hay necesidades específicas de apoyo educativo de otra índole.

3.2.1. Marco legislativo

La propuesta se enmarca dentro del siguiente marco legislativo español:

- **Ley Orgánica 8/2013**, de 9 de diciembre, para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE), que define los currículos, competencias y evaluación para mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje.

- **Real Decreto 1105/2014**, del 26 de diciembre, donde consta el **currículo básico** de Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato.
- **Orden ECD 65/2015**, del 21 enero, por la que se describen las relaciones entre las **competencias**, los **contenidos** y los **criterios** de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato.
- **Decreto 52/2015**, de 21 de mayo, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la **Comunidad de Madrid** el currículo del Bachillerato.

3.3. Intervención en el aula

3.3.1. Objetivos

3.3.1.1. Objetivos Generales

Una vez llevado a cabo, la propuesta contribuirá para el logro de los siguientes ocho objetivos generales de la etapa de bachillerato, desde los que vienen especificados en el artículo 25 del Real Decreto 1105/2014. Se presentan aquí en un orden propio del contexto de este propuesta: Primero los objetivos directamente vinculados a la disciplina de biología (OG1-2). Siguen los que son relacionados con hábitos de mente, de reflexión y habilidades sociales (OG3-4); la dimensión histórica y comprender la actualidad (OG5); finalmente lo que es el uso del lenguaje (OG6-7) y los TIC (OG8).

- **OG1:** Acceder a los conocimientos científicos y tecnológicos fundamentales y dominar las habilidades básicas propias de la modalidad elegida.
- **OG2:** Comprender los elementos y procedimientos fundamentales de la investigación y de los métodos científicos. Conocer y valorar de forma crítica la contribución de la ciencia y la tecnología en el cambio de las condiciones de vida.
- **OG3:** Afianzar los hábitos de lectura, estudio y disciplina, como condiciones necesarias para el eficaz aprovechamiento del aprendizaje, y como medio de desarrollo personal.
- **OG4:** Consolidar una madurez personal y social que les permita actuar de forma responsable y autónoma y desarrollar su espíritu crítico. Prever y resolver pacíficamente los conflictos personales, familiares y sociales.
- **OG5:** Conocer y valorar críticamente las realidades del mundo contemporáneo, sus antecedentes históricos y los principales factores de su evolución.
- **OG6:** Dominar, tanto en su expresión oral como escrita, la lengua castellana.

- **OG7:** Expresarse con fluidez y corrección en una o más lenguas extranjeras.
- **OG8:** Utilizar con solvencia y responsabilidad las tecnologías de la información y la comunicación

3.3.1.2. Objetivos Didácticos

Los **objetivos didácticos** de la propuesta son los siguientes:

OD1. En relación con las competencias básicas en **Ciencia y Tecnología**: entender conceptos y procesos relacionados con genética en escenarios multidisciplinares. Consolidar una percepción no-determinista de los genes en humanos, sabiendo que los caracteres complejos son producto de interacción entre varios genes, factores epigenéticas y ambientales.

OD2. En relación con la competencia **Aprender a Aprender**: Entrenar el pensamiento crítico y creativo a través de problemáticas relacionados con la genética. Desarrollar hábitos de mente que automáticamente recurren a las herramientas de pensamiento complejo. Sembrar apoyo mental que facilitará la transferibilidad de las destrezas adquiridas en materias genéticas a otros campos de pensamiento.

OD3. En relación con las competencias **Sociales y Cívicas**: Preparar a los alumnos para poder tomar decisiones y emitir juicios, fundadas en la reflexión multidisciplinar en escenarios relacionados con la genética. Sensibilizar sobre posibles impactos e interpretaciones de la genética en el futuro, para que las opiniones y juicios expresados por los alumnos puedan ser contundentes, pero sin ser hirientes.

OD4: En relación con la competencia **língüística**: Mejorar la capacidad de hablar y escribir sobre temas relacionados con la genética, con claridad y precisión. Entender y poder aplicar adecuadamente el vocabulario pertinente.

OD5: En relación con la competencia **digital**: Acostumbrar a los alumnos a utilizar y valorar la información en Internet sobre genética.

3.3.2. Competencias

La propuesta trabajará las siguientes cinco competencias clave, presentadas según la orden dictada por la lógica interna de la propuesta.

CC1. CMCT - Competencia Matemática y competencias básicas en Ciencia y Tecnología

Este se puede considerar la competencia principal de la asignatura Cultura Científica. La genética es uno de los campos de las ciencias biológicas con desarrollo más acelerado. Además los discursos en la sociedad sobre los genes tendrán cada vez más peso potencial en la autoconcepción humana. Por lo tanto, es importante que los alumnos estén bien armados conceptualmente para afrontar estos retos. Es justamente a lo que la propuesta está diseñada: entrenar a los alumnos en pensar sobre diferentes aspectos de la genética, a través de escenarios cognitivamente desafiantes.

CC2: AA Aprender a Aprender.

Tal como se ha visto en el Marco Teórico (capítulo 2.2), el propósito de la metodología TBL es desarrollar destrezas de pensamiento e incrementar la conciencia sobre la metacognición. Todas las actividades de la propuesta están diseñadas para estimular procesos cognitivos complejos. Estos procesos se comentan permanentemente, de manera explícita. Esto claramente fortalece la competencia de aprender a aprender.

CC3: CSC - Competencias sociales y cívicas. Esta competencia se trabajará por dos cauces. Por parte de los contenidos, es decir lo que es *Cultura* en ‘Cultura científica’: conocimientos sobre los aspectos sociales de la genética.

Luego tenemos lo que es la interacción entre los alumnos. En el Marco Teórico se ha hablado de cognición distribuida (pensamiento en equipo) como una parte esencial de la metodología TBL. Los trabajos en equipo y los ejercicios de debate, de los que hay varios en la propuesta, son simulacros de la vida en sociedad, por lo tanto, desarrollan la competencia CSC.

CC4: CL - Competencia en comunicación lingüística. Las actividades de trabajo en grupo y debate entran la competencia del habla en castellano. Un ejercicio de redacción va dirigida a la competencia de la lengua escrita. Otro de los ejercicios se basa en un artículo en inglés, conque también se trabajan las habilidades de este idioma. Además, la metodología TBL exige una conciencia elevada sobre la claridad de los conceptos: la reflexión sobre el propio pensamiento requiere un lenguaje de pensamiento.

CC5: CD - Competencia digital. Las actividades de la propuesta incluyen la búsqueda y valoración de información en el internet.

3.3.3. Contenidos

En la Tabla 6 se muestran los contenidos trabajados en la propuesta, relacionados con los criterios de evaluación, con los estándares de aprendizaje evaluables, las competencias clave y los objetivos didácticos.

Tabla 6: Los Contenidos relacionados con los criterios de evaluación, con los estándares de aprendizaje, las competencias clave y los objetivos didácticos de la propuesta

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de Aprendizaje	Objetivos Didácticos	Competencias Clave Trabajadas
C1. Los genes como bases de la herencia.	CE1. Reconocer los hechos históricos más relevantes para el estudio de la genética.	EA1. Conoce y explica el desarrollo histórico de los estudios llevados a cabo dentro del campo de la genética.	OD1, OD2, OD3, OD4	CMCT, AA, CSC, CL
C2. El código genético	CE2. Obtener, seleccionar y valorar informaciones sobre el ADN, el código genético, la ingeniería genética y sus aplicaciones médicas.	EA2. Sabe ubicar la información genética que posee todo ser vivo, estableciendo la relación jerárquica entre las distintas estructuras, desde el nucleótido hasta los genes responsables de la herencia.	OD1, OD3	CMCT, CSC
C3. Darwinismo y genética.	CE3. Establecer las pruebas que apoyan la teoría de la selección natural de Darwin y utilizarla para explicar la evolución de los seres vivos en la Tierra.	EA3. Describe las pruebas biológicas, paleontológicas y moleculares que apoyan la teoría de la evolución de las especies.	OD1, OD2, OD4	CMCT, AA, CL
C4. El Proyecto Genoma Humano.	CE4. Conocer los proyectos que se desarrollan actualmente como consecuencia de descifrar el genoma humano, tales como HapMap y Encode.	EA4. Conoce y explica la forma en que se codifica la información genética en el ADN, justificando la necesidad de obtener el genoma completo de un individuo y descifrar su significado.	OD1, OD2, OD3, OD4, OD5	CMCT, AA, CSC, CL, CD
C5. Aspectos sociales relacionados con la ingeniería genética.	CE5. Valorar las repercusiones sociales de la reproducción asistida, la selección y conservación de embriones.	EA5. Establece las repercusiones sociales y económicas de la reproducción asistida, la selección y conservación de embriones.	OD1, OD2, OD3, OD4	CMCT, AA, CSC, CL
C6. La clonación y sus consecuencias médicas.	CE6. Analizar los posibles usos de la clonación.	EA6. Describe y analiza las posibilidades que ofrece la clonación en diferentes campos.	OD1, OD2, OD3, OD4	CMCT, AA, CSC, CL

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de Aprendizaje	Objetivos Didácticos	Competencias Clave Trabajadas
C7. Bioética	CE7. Identificar algunos problemas sociales y dilemas morales debidos a la aplicación de la genética: obtención de transgénicos, reproducción asistida y clonación.	EA7. Valora, de forma crítica, los avances científicos relacionados con la genética, sus usos y consecuencias médicas y sociales.	OD1, OD2, OD3, OD4	CMCT, AA, CSC, CL
C8. Búsqueda de información.	CE8. Obtener, seleccionar y valorar informaciones relacionadas con la ciencia y la tecnología a partir de distintas fuentes de información.	EA8. Analiza un texto científico o una fuente científico-gráfica, valorando de forma crítica, tanto su rigor y fiabilidad, como su contenido.	OD1, OD2, OD4, OD5	CMCT, AA, CL, CD
C9. Búsqueda de información. Herramientas TIC.		EA9. Busca, analiza, selecciona, contrasta, redacta y presenta información sobre un tema relacionado con la ciencia y la tecnología, utilizando tanto los soportes tradicionales como Internet.	OD2, OD5	AA, CD
C10. Trabajo en grupo. Debates	CE10. Comunicar conclusiones e ideas en soportes públicos diversos, utilizando eficazmente las tecnologías de la información y comunicación para transmitir opiniones propias argumentadas.	EA10. Realiza comentarios analíticos de artículos divulgativos relacionados con la ciencia y la tecnología, valorando críticamente el impacto en la sociedad de los textos y/o fuentes científico-gráficas analizadas y defiende en público sus conclusiones.	OD1, OD2, OD3, OD4	CMCT, AA, CSC, CL

Fuentes: Real Decreto 1105/2014 (currículo básico), y Decreto 52/2015 para la Comunidad de Madrid (Títulos de los Contenidos)

3.3.4. Metodología

La metodología de la propuesta es el Aprendizaje Basado en el Pensamiento, TBL por sus siglas en inglés (*Thinking Based Learning*). Capítulo 2.2.5 en el Marco Teórico da un resumen de la metodología. Lo fundamental es la enseñanza de destrezas de pensamiento vinculado con (infusionado en) los contenidos curriculares. Para poder conseguirlo, la selección de temas de actividades es sumamente importante, tal como se ha visto en el capítulo 2.5.1. No basta con ejercicios meramente dirigidos a la comprensión de los contenidos, buscamos ejercicios que además también crean conflictos cognitivos. Los que puedan generar reflexiones complejas e interesantes y conducir a debates enriquecedores. Ejercicios con estas características también se esperan ser más motivadores para los alumnos. Algunas temáticas, estrategias y recursos que

cumplen con tal requerimiento han sido señalados en el capítulo 2.7, las actividades de la propuesta harán uso de ellos en el siguiente orden: La actividad 2 está basada en la historia de la genética; actividades 3 y 4 en la pandemia del Coronavirus; 7 y 8 en genética humana. La actividad 5 es de refuerzo, para los alumnos que hayan mostrado deficiencias de comprensión en las actividades anteriores. La actividad 6 es de ampliación, dirigidos a los alumnos que tienen la comprensión de lo básico más completo. La actividad 9 también tiene diferentes alternativas que se pueden considerar de refuerzo o de ampliación.

En la elaboración de actividades también se han tenido en cuenta las dificultades de aprendizaje más comunes que presentan los alumnos en el aprendizaje de los contenidos de genética, los que se ha visto en el capítulo 2.6. Entre los cuales destaca la convicción que los genes determinen todo. Erradicar esta falsa idea, o por lo menos sembrar duda sobre ello es una misión importante de la enseñanza escolar, y a la vez es un sustrato idóneo para trabajar destrezas de pensamiento.

El enfoque de la metodología está pues en los procesos cognitivos y la conciencia de los alumnos sobre ellos. Por lo tanto, el docente debe aprovechar cada oportunidad para comentar explícitamente sobre los procesos mentales, empleando un nítido lenguaje del pensamiento (véase punto E. en capítulo 2.2.5). Esto conlleva tiempo, tal como se ha señalado en el capítulo 2.5.2. y en la Figura 1. Al dirigir las clases y las actividades, el docente debe mantener el equilibrio en el uso del tiempo, evitando así los dos riesgos complementarios inherentes en la metodología: La parte sobre procesos de pensamiento tiene que ser suficientemente explícita pero tampoco puede consumir demasiado tiempo, los contenidos también deben recibir atención. Anexo B (Monitorizar la clase TBL) contiene sugerencias a tablas que ayudan a mantener este equilibrio.

El cauce que toman los procesos de pensamiento individual (el reflexionar, el argumentar) y pensamiento colectivo (debates) nunca es previsible. Esta imprevisibilidad que crea escenarios abiertos es un atractivo de las actividades y lo que hace que sean un simulacro adecuado de la vida real. Así que el diseño de las actividades quiere fomentar esta apertura todo lo posible.

3.3.4.1. Apoyo a los Procesos de Pensamiento

La propuesta emplea los conocidos mapas estratégicos de pensamiento de TBL ('Partes-todo' en actividad 5 y 'compara y contrasta' en actividades 3 y 6). No obstante, para el grupo de edad a que van dirigido las actividades (1º de Bachillerato, alumnos de 16-17 años) consideramos que estos mapas son quizás demasiado rígidos. Para esta edad, ya más cerca de la adultez que de la niñez, consideramos más eficaz y motivador dejar más libertades para la reflexión, no llevarlo demasiado a mano a mano. Pero tratándose de un contexto escolar, debemos tener los objetivos de aprendizaje en mente, no se puede dejar libertades absolutas. El campo llamado "Apoyo a los Procesos de Pensamiento" ha surgido de este dilema. (está en algunas fichas o en el texto que acompaña las actividades) El campo proporciona herramientas al docente para dirigir al cauce de las actividades. Contiene pautas, consejos, posibles preguntas, posibles respuestas etc. para guiar a la dinámica de la actividad. En resumen: los comentarios e instrucciones en el campo "Apoyo a los Procesos de Pensamiento" no son exactamente los mapas estratégicos de TBL, pero tienen una función similar.

3.3.5. Cronograma y secuenciación de actividades

Las actividades están agrupadas en tres, su secuencia sigue la siguiente lógica: Empezamos con historia; seguimos con aspectos moleculares, para llegar a la genética humana. Cada grupo edifica de algún modo sobre los anteriores.

En total hay 9 actividades que se desarrollan a lo largo de 12 sesiones. Dos de las actividades (Nr 4 y Nr 7) son más largos, cada una de 3 sesiones. Las demás actividades están previstos a durar solamente una sesión. Algunas conllevan deberes, antes o después de las clases.

La Tabla 7 muestra una cronograma y secuenciación de actividades.

Tabla 7: Cronograma y secuenciación de actividades.

Grupo Actividades	Palabras clave sobre el grupo de Actividades	Descripción del grupo de Actividades	Nr.	TÍTULO de actividad	Resumen de Actividad	Basico Refuerzo Amplia.	Sesiones											
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	HISTORIA/ EPISTEMOLOGÍA	Surgimiento de la Genética	1	Conocimientos y Convicciones Previas	Contestar 4 preguntas; Discusión	Básico (Ev. Inicial)												
			2	Lo asombroso en Mendel	Reflexión colectiva; Mini redacción	Básico												
II	MOLECULAR	Estructura, Origen y Evolución del Coronavirus	3	El sistema genético del Coronavirus y el de un Humano	COMPARA Y CONTRASTA (Plantilla TBL)	Básico												
			4	¿Es Natural o Artificial el Coronavirus?	Lectura y análisis de un Artículo; Debate	Básico												
		(Refuerzo Molecular)	5	La relación del ADN con la célula, el organismo y la población	PARTES-TODO (Plantilla TBL)	Refuerzo												
		(Ampliación Molecular)	6	Información en el Genes (ADN) vs Información en una Idioma natural / Ordenadores	COMPARA Y CONTRASTA (Plantilla TBL)	Amplia.												
III.	HUMANO	Genética Humana	7	Proyecto Genoma Humano - HapMap y Encode	Elaborar Mural; Buscar/procesar información	Básico												
			8	BIOTECNOLOGÍA aplicado a humanos	Debate; Simular toma de decisiones	Básico												
			9	Redacción de Ensayo - Libre elección entre 5 opciones	Escritura	Básico / Refuerzo / Amplia.												
Trabajar con Procesos de Pensamiento																		

Fuente: Elaboración propia

3.3.6. Recursos

- El libro de texto *Cultura Científica*. Editorial Santillana, ISBN 978-84-680-1186-8
- Libro *La lógica de lo viviente. Una historia de la herencia*, de Francois Jacob, ed. Tusquets (2a edición: 2014) ISBN: 978-8483106471
- El artículo Holmes et al. 2021. Acesible libremente en el Internet.
- Sala de ordenadores.

Actividad 1. Detectar Conocimientos y Convicciones Previas (Ficha en Tabla 8)

Los alumnos reciben una hoja de papel y sin preaviso ni acceso a fuentes para consultar (libros, móviles) deben contestar las siguientes 4 preguntas.

Antes de comenzar se deja claro que:

- Hay muchas posibles respuestas, no buscamos la (una) correcta
- **No es un examen**, las respuestas no puntúan. Sirven para el profesor y el propio alumno para establecer el punto de partida antes del comienzo de la Unidad Didáctica. No obstante, siendo importante la reflexión deben pensar bien sus respuestas. Tienen 15 minutos.

1. ¿Qué es un Gen?
2. ¿Qué hacen / cómo funcionan los genes?
3. ¿Determinan los genes todo sobre cómo es un ser vivo? (Piensa en concreto en un ser humano.) Independientemente de la respuesta, sí o no: ¿Por qué?
4. Menciona por lo menos una cosa que te extraña en relación con los genes.

Al terminar los 15 minutos, los papeles se recogen. Se hace una discusión abierta donde los que quieren voluntariamente pueden decir sus respuestas de voz alta. El profesor apunta las respuestas en la pizarra y va dirigiendo la discusión para que salgan tantos **diferentes tipos** de respuestas como posible.

Hablar sobre diferentes niveles de organización. (micro/macro; molecular/celular/organismo/población). Se debe prestar atención a y comentarios explícitos sobre procesos de pensamiento. (Aquí y en todos los actividades de la UD.)

Sugerencia (voluntaria): Preguntar a dos personas en el ámbito privado de los alumnos (padres, hermanos, amigos) sobre ¿Qué es un Gen? – quizás también las otras preguntas que han recibido ellos hoy. Apuntar las respuestas, comentar si quieren y entregar.

El final de la clase es preparación de la Actividad 2. Tienen los últimos 10 minutos para empezar a leer los textos que se necesitan. (véase allí).

Tabla 8. Ficha de la actividad 1. Conocimientos y Convicciones Previas.

Nr 1	Grupo de Actividades:	I.	II.	III.		
Título de la Actividad 1:		Sesiones		Tipo		
Conocimientos y Convicciones Previas		1		Básica		
Objetivos Didácticos:		Contenidos:	Competencias Clave:			
OD1, OD2, OD3, OD4		C2, etc	CMCT, AA, CSC, CL			
sesión	Desarrollo de las actividades:			Tiempo		
1	Contestar 4 Preguntas por escrito			15'		
	Discutir posibles respuestas			20'		
	Preparación para la actividad 2 - empezar a leer textos			15'		
	TOTAL			50'		
Lugar de Realización:		Recursos:	Agrupamiento:			
Aula Ordinaria, Ambito personal del alumno		papel y lapis	individual			
E V A L U A C I Ó N						
Criterios de Evaluación:		Estándares de Aprendizaje:				
CE1,		EA1, EA9				
Procedimientos:		Análisis de respuestas escritas				
Medio/Instrumentos :		Preguntas para conocimientos previos				

Fuente: Elaboración propia

Actividad 2. Lo Asombroso en Mendel (Ficha en Tabla 9)

Deberes para esta clase: Los alumnos tienen que haber leído (en el final de la clase anterior y en otros ratos libres en el colegio o en casa) páginas 79-82 en libro de texto (4 páginas sobre los inicios de la genética; cromosomas etc.) y el breve extracto del libro de F. Jacob (1970) (Anexo D).

La parte biológica no contiene nada radicalmente nuevo que los alumnos no hayan aprendido ya en 4º de ESO. La novedad esta en la parte histórica/social.

Junto con la lectura deben empezar a reflexionar sobre la pregunta: **¿Porque la comunidad científica ha tardado 35 años en darse cuenta de la importancia del trabajo de Mendel?** (El docente debe destacar que este hecho extraño no viene en el libro de texto.)

En la clase: Repaso interactivo de las ideas en los textos leídos. Reflexión colectiva sobre ellos. (Recordar el concepto de diferentes niveles de organización que ya ha sido mencionado en la clase anterior.)

Deberes después de esta clase: (que se menciona al comienzo de la clase) Basado en la lectura de los textos y el repaso y la reflexión colectiva que tiene lugar en la clase, los alumnos tienen que escribir un texto corto de 10-15 líneas contestando la antedicha pregunta sobre Mendel. Deben aprovechar la clase para participar, escuchar y tomar notas para la elaboración de este texto.

Tabla 9. Ficha de la actividad 2. Lo Asombroso en Mendel

Nr 2	Grupo de Actividades: I. II. III.				
Título de la Actividad 2:		sesiones	Tipo		
Lo Asombroso en Mendel		1	Básica		
Objetivos Didácticos:	Contenidos:	Competencias Clave:			
OD1, OD2, OD3, OD4	C1, C9, C10	CMCT, AA, CSC, CL			
sesión	Desarrollo de las actividades:				
1	véase en texto				
Tiempo	50'				
Lugar de Realización:	Recursos:	Agrupamiento:			
Aula Ordinaria	Pizarra, lapices, papel	Clase entera, deberes individuales			
E V A L U A C I Ó N					
Criterios de Evaluación:	Estándares de Aprendizaje:				
CE1,	EA1, EA9				
Procedimientos:	Observación directa				
	Análisis (del texto)				
Medio/Instrumentos :	Texto entregado				
	Lista de Cotejo (Tabla 17)				

Fuente: Elaboración propia

Actividad 3. Compara y Contrasta: El sistema genético del Coronavirus con el de un ser Humano (Ficha en Tabla 10)

La actividad empieza con repetición de los mecanismos básicos de genética (de 4º ESO) y el concepto de un virus. A continuación se rellenan plantillas TBL de Compara y Contrasta (Anexo D) en grupos de 3-4 alumnos .

Al repasar los resultados juntos, hay que dar énfasis a este relación fundamental:

- gen => proteína => rasgo

En el caso del Coronavirus “rasgo” significa directamente propiedad de proteína; por ejemplo la facilidad de adherirse a la célula que ataca.

En organismos complejos (por ejemplo, seres humanos) hay pasos intermediarios hacia “el rasgo”, pero el primer paso es también siempre: gen=>proteína. Los alumnos también se deben comprender que la mayoría de los rasgos complejos surgen de la interacción entre varios genes.

Apoyo a Procesos de Pensamiento:

- Evitar Trampa: NO son los ORGANISMOS que comparamos sino SUS SISTEMAS GENÉTICOS
- Cuidado con fuente de confusión: El Virus usa mecanismos de la célula humana en su sistema
- Principales diferencias: autonomía para reproducirse; tamaño de genoma; número genes; mecanismos de control, ...
- Principales semejanzas: mismo código genético, susceptible a mutación => evolución (de allí han surgido las variedades denominadas alfa, ..., delta, ómicron etc.)

Tabla 10. Ficha de la actividad Nr 3. Compara y Contrasta: El sistema genético del Coronavirus con el de un ser Humano

Nr 3	Grupo de Actividades:	I.	II.	III.
Título de la Actividad 3:		sesiones	Tipo	
Compara y Contrasta: El sistema genético del Coronavirus con el de un ser Humano		1	Básica	
Objetivos Didácticos:		Contenidos:	Competencias Clave:	
OD1, OD2, OD4		C2	CMCT, AA, CL	
sesión	Desarrollo de las actividades:			Tiempo
1	*Repetición de mecanismos básicos de genética (de 4º ESO) y concepto del virus			15'
	*Compara y Contrasta - desarrollar en grupos de 3-4 alumnos (plantilla en Anexo D)			20'
	*Repasar los resultados juntos, toda la clase. Dar énfasis a:			20'
	-gen => proteína => rasgo (en el caso del Coronavirus es propiedad de proteína)			
	-camino de genes a rasgos es tb a través de proteínas en humanos, pero complejo			
TIEMPO TOTAL				55'

Lugar de Realización:	Recursos:	Agrupamiento:
Aula Ordinaria	Pizarra, lapices, papel	Clase, grupos de 3-4
E V A L U A C I Ó N		
Criterios de Evaluación:		Estándares de Aprendizaje:
CE2		EA2
Procedimientos:		Observación directa
Medio/Instrumentos :		Plantilla TBL Compara-Contrasta
Lista de Cotejo (Tabla 18)		

Fuente: Elaboración propia

Actividad 4. ¿Es Natural o Artificial el Origen del Coronavirus? (Ficha en Tabla 11)

La actividad consiste en: Lectura (juntos, en clase) comprensión y análisis de un artículo científico seguido por un debate. A lo largo de 3 sesiones.

Apoyo a Procesos de Pensamiento:

¿En qué se basan las convicciones sobre el origen del virus?: ¿Noticias?, ¿Opinión de los padres/amigos?

- El reto de gestionar la ambigüedad: En este momento seguimos sin saber el organismo que es el origen del virus y sabemos que la ciudad de Wuhan tiene un centro virológico. Estos dos hechos incitan a pensar en un origen artificial. (Que el virus ha escapado o ha sido soltado del dicho laboratorio). Sin embargo, una larga serie de argumentos científicos racionales indican lo contrario, es decir el origen natural del virus. (+ Mención explícita que la vida moderna tiene muchos escenarios ambiguos.)
- Los alumnos deben entender las grandes líneas del artículo, pero no todos los detalles. Saber hasta qué punto se debe entender, y qué es menos importante.
- Extraer argumentos del artículo para el debate.
- Escuchar con atención a los argumentos de los otros en el debate. Contestar con propios. Formular bien.
- Distinguir a los convicciones (creencias) de los argumentos racionales

Tabla 11. Ficha de la actividad Nr 4. ¿Es Natural o Artificial el Origen del Coronavirus?

Nr 4	Grupo de Actividades:	I.	II.	III.
Título de la Actividad 4:		sesiones		Tipo
¿Es Natural o Artificial el Origen del Coronavirus? (edifica en la actividad 2)		3		Básica
Objetivos Didácticos:	Contenidos:	Competencias Clave:		
OD1, OD2, OD3, OD4	C2, C3, C8, C10	CMCT, AA, CSC, CL		
sesión	Desarrollo de las actividades:			Tiempo
1	Introducción a la actividad. Pregunta sobre creencias de los alumnos sobre el origen del Coronavirus. (¿Natural o Artificial?) Formación de grupos basado en afinidad de opiniones sobre lo anterior. Estos serán los grupos de debate en la sesión 2 Se reparte a cada alumno el artículo (Holmes et al. 2021). Docente explica el contexto y la estructura del artículo. Se explican paso a paso algunas de los argumentos. Los grupos tienen que leer juntos lo explicado y empezar a preparar el debate			10' 5' 20' 20'
		Tiempo total tiempo sesión 1		55'
2	Docente explica más detalles del artículo. Grupos de alumnos trabajan con el texto y preparan el debate - docente entre grupos Deberes: terminar la preparación al debate.			10' 45'
		Tiempo total tiempo sesión 2		55'
3	Preguntas Debate: ¿Es Natural o Artificial el Origen del Coronavirus?			5' 50'
		Tiempo total tiempo sesión 3		55'
Lugar de Realización:	Recursos:	Agrupamiento:		
Aula Ordinaria	Artículo impreso, Pizarra	Grupos de 3-4		
E V A L U A C I Ó N				
Criterios de Evaluación:	Estándares de Aprendizaje:			
CE2, CE3, CE8, CE10	EA2, EA3, EA8 (Analiza un texto científico), EA10 (debate)			
Procedimientos:	Observación directa (del proceso de trabajo; del debate)			
	Análisis			
Medio/Instrumentos :	Debate y apuntes para prepararlo			
	Rúbrica (Tabla 19)			

Fuente: Elaboración propia

Actividad 5. La relación del ADN con la célula, el organismo y la población (Ficha en Tabla 12)

Actividad de refuerzo. Para los alumnos que han mostrado cierta deficiencia de comprensión básica a lo largo de las actividades 1-4.

En grupos de 3-5, formación libre.

Desarrollo de la actividad: Rellenar tres plantillas **Partes-Todo** de TBL (véase Anexo C - Organizadores Gráficos TBL). En el primero el ‘Todo’ es la Célula; en el segundo el ‘Todo’ es el Organismo en el tercero el ‘Todo’ es la Población.

En todas las tres plantillas el primero de los ‘Partes’ debe ser ‘El ADN’. Los otros ‘Partes’, se deciden por los alumnos dependiendo que es ‘Todo’ (célula, organismo o población). Hay que tener en mente que el fin del ejercicio es la comprensión de la función del ADN. Se puede resolver el ejercicio de muchas maneras, pero no se debe divagar en completamente otras direcciones, que no sean nada relacionados con la ubicación, estructura y/o función del ADN.

Para cada “parte” la plantilla pide contestar: “¿Qué pasaría si faltaran estas partes? y ¿Cuál es la función de las partes?”

La pregunta final: ¿Cuál es la relación de las partes con el todo? Solamente se debe contestar para ‘El ADN’ – en luz del análisis de los otros partes.

El docente debe acercarse a la mesas donde trabajan los grupos con cierta frecuencia, para resolver dudas y encauzar procesos de pensamiento.

Tabla 12. Ficha de la actividad Nr 5 Partes-Todo - La relación del ADN con la célula, el organismo y la población.

Nr 5	Grupo de Actividades: I. II. III.		
Título de la Actividad 5:		Sesiones	Tipo
La relación del ADN con la célula, el organismo y la población		1	Refuerzo
Objetivos Didácticos: OD1, OD2, OD3, OD4	Contenidos: C2, C3	Competencias Clave: CMCT, AA, CL	
sesión	Desarrollo de las actividades:		Tiempo
1	Describir actividad y formar grupos		5'
	Rellenar Tres Plantillas de “Partes-Todo” de TBL		40'
	Tiempo total tiempo sesión 1		55'

Lugar de Realización:	Recursos:	Agrupamiento:
Aula Ordinaria,	Tres plantillas "Partes-Todo" en papel, formato A3, Rotuladores	grupos de 3-5, formación libre

E V A L U A C I Ó N	
Criterios de Evaluación:	Estándares de Aprendizaje:
CE2, CE3	EA2, EA3
Procedimientos:	Observación directa (del proceso de trabajo)
	Ánalisis (de las plantillas Parte-Todo)
Medio/Instrumentos :	Plantilla TBL Parte-Todo
	Lista de Cotejo (Tabla 20)

Apoyo a los Procesos de Pensamiento:

Organizador Gráfico: **Plantilla de TBL "Partes-Todo"** (Anexo C)

Al pensar los niveles de organización, los alumnos deben tener en mente no solamente el espacio (micro y macro) sino también el tiempo. Es decir deben pensar en el rol del ADN no solamente en la vida individual sino también en la perspectiva de la evolución (de poblaciones).

Fuente: Elaboración propia

Actividad 6. Comparar el concepto “Información” entre genes (ADN) y ordenadores, luego entre genes (ADN) e idiomas naturales. (Ficha en Tabla 13)

Actividad de ampliación. Para los alumnos que han mostrado buena comprensión básica a lo largo de las actividades 1-4. (A los que la actividad 5 de refuerzo no es necesario.)

En grupos de 2, elección libre de pareja.

Desarrollo de la actividad:

Rellenar dos plantillas **Compara y Contrasta** de TBL (véase Anexo C Organizadores Gráficos TBL).

En el primero se deben contrastar la información en genes (ADN) por un lado y la información en ordenadores por otro.

En la segunda plantilla se comparan la información en genes (ADN) con la información en idiomas naturales (por ejemplo, el castellano).

El propósito del ejercicio es hacer ver a los alumnos lo siguiente: Aunque usamos la misma palabra “información”, el índole de lo que hablamos es sumamente diferente entre los tres sistemas de referencia (genes, ordenadores o idiomas naturales). Se puede decir que la

palabra “información” aplicado a la genética es una metáfora. Las consecuencias de este planteamiento son muy amplias, no se pueden tratar exhaustivamente en una clase. La intención con la actividad es simplemente sembrar una semilla en la mente de los alumnos receptivos a ello.

Literatura recomendada para el docente en la preparación a esta actividad: Maynard Smith, 2000; Jablonka, 2002; Pigliucci y Boudry, 2011 (referencias en el apartado “Bibliografía”) mas Kay (2000) y Koopman, 2020.

Tabla 13. Ficha de la actividad Nr 6. - el concepto “Información”

Nr 6	Grupo de Actividades:	I.	II.	III.
Título de la Actividad 6: Comparar el concepto “Información” entre genes (ADN) y ordenadores, luego entre genes (ADN) e idiomas naturales.			1	Amplia.
Objetivos Didácticos: OD1, OD2, OD3, OD4	Contenidos: C1, C2, C3, C7	Competencias Clave: CMCT, CSC, AA, CL		
sesión	Desarrollo de las actividades:			Tiempo
1	véase en texto			
		Tiempo total tiempo sesión 1		55'
Lugar de Realización: Aula Ordinaria,	Recursos: 2 Plantillas "Compara y Contrasta" en hoja A3	Agrupamiento: grupos de 2, formación libre		
E V A L U A C I Ó N				
Criterios de Evaluación: CE1, CE2, CE3, CE7	Estándares de Aprendizaje: EA1, EA2, EA3, EA7			
Procedimientos:	Observación directa (del proceso de trabajo)			
	Análisis (de las plantillas "Compara y Contrasta")			
Medio/Instrumentos :	Plantilla TBL "Compara y Contrasta"			
	Lista de Cotejo (Tabla 21)			
Apoyo a los Procesos de Pensamiento:				
Organizador Gráfico: Plantilla de TBL "Compara y Contrasta" (Anexo C)				
Sugerencias a criterios para incluir en la comparación:				
¿Cómo es la estructura de la información? (letras, palabras, correspondencias en el código etc.);				
¿Qué tipo de propósitos sirve la información?; ¿Sentido de la interpretación?				
¿Quién/Que ha metido la información en el soporte? (Para el ADN la respuesta puede ser 'los procesos				

de mutación y selección de la evolución'; véase Maynard Smith, 2000))
¿Quién/Que puede modificarlo?; ¿Consecuencias de errores?

Fuente: Elaboración propia

Actividad 7. GENOMA HUMANA – Elaboración de MURAL para exhibir en un pasillo del colegio. (Ficha en Tabla 14)

Con esta actividad queremos proyectar la reflexión que tiene lugar en el aula hacia fuera, es decir hacia el resto del alumnado en el colegio. Esto ocurrirá a través de murales de cartulina que serán exhibidos en un pasillo transitado del colegio. Será para el beneficio de la comunidad escolar y también porque el reto de explicar a terceros abre otros modos de pensar.

Deberes, preparación para la clase: Leer páginas 88-91 en el libro de texto (4 páginas).

Estas páginas dan conocimientos básicos sobre:

Intrón/Exón; ADN Basura; Genoma y Complejidad; genómica, proteómica; Genética de desarrollo; Epigenética; La controversia Herencia-Medio; Resumen muy breve de los proyectos HapMap y Encode.

La información básica presentada aquí debe suplementarse con búsquedas adicionales; en el Internet o en bibliotecas.

Desarrollo de la actividad:

Tarea para trabajo en 6 grupos de 4 alumnos. Todos los grupos deben elaborar un mural, en lo cual explican las características fundamentales de la Genoma Humana, destacando hechos sorprendentes. Con el contenido y diseño de los murales los alumnos deben dirigir la atención de otros alumnos del colegio hacia **cuestiones polémicas** y/o áreas donde se esperan **avances importantes** dentro de pocas décadas. Con la ayuda y coordinación del profesor se debe llevar a cabo un reparto de los subtemas, para asegurar que **cada mural trate algo diferente**. Se deben incluir en algunos de los grupos los siguientes asuntos:

- La controversia Herencia-Medio
- Argumentos y planteamientos que refuten la creencia “Los genes determinan todo”

- Expresión explícita de cosas que han cambiado en nuestra percepción del genoma humano como consecuencia del Proyecto Genoma Humano y HapMap y Encode
- Expresión explícita de cosas que la ciencia de momento NO sabe.

Cada mural debe incluir por lo menos **una cosa** (enfoque, planteamiento, pregunta...) **realmente importante que NO viene claramente en el libro de texto**. Aquí no buscamos meros curiosidades sino cosas relevantes, con peso conceptual. Los grupos deben consultar este punto con el profesor antes de incluirlo en el mural, **argumentando por la importancia**. Esta búsqueda y argumentación es una excelente oportunidad para meta-comentarios sobre los procesos subyacentes de pensamiento. Es también un llamamiento para “ir más allá del libro de texto” que los alumnos deben recordar en el futuro. (Donde “libro de texto” por ejemplo se puede sustituir por “las noticias en el telediario”)

Tabla 14. Ficha de la actividad Nr 7. – Mural: Genoma Humano

Nr 7	Grupo de Actividades:	I	II.	III.
Título de la Actividad 7: MURAL SOBRE EL GENOMA HUMANO			1	Básica
Objetivos Didácticos: OD1, OD2, OD3, OD4, OD5	Contenidos: C2, C4 , C8, C10	Competencias Clave: CMCT, AA, CSC, CL, CD		
sesión	Desarrollo de las actividades: 1 véase en texto			Tiempo
Lugar de Realización: Aula Ordinaria, Exponer en: Pasillo transitado del colegio	Recursos: Material para preparar un Mural, (Cartulina, rotuladores etc.)	Agrupamiento: grupos de 4		
E V A L U A C I Ó N				
Criterios de Evaluación: CE2, CE4, CE8, CE10	Estándares de Aprendizaje: EA2, EA4, EA9, EA10			
Procedimientos:	Observación directa (del proceso de trabajo)			
	Análisis (del mural)			
Medio/Instrumentos :	El Mural			
	Rúbrica (Tabla 22)			

Fuente: Elaboración propia

Actividad 8. BIOTECNOLOGÍA aplicada a humanos. Clonación, Reproducción asistida, la selección y conservación de embriones (Ficha en Tabla 15)

Además de debate, esta actividad es un simulacro de toma de decisiones relacionados con biotecnología utilizado en nivel personal. Se debe involucrar todo lo posible a las convicciones (creencias, preferencias...) personales de los alumnos.

Deberes, preparación para la clase: Leer páginas 98-103 en el libro de texto (6 páginas). Se suplementa con búsquedas y lecturas en el internet.

Desarrollo de la actividad: La clase empieza con un sondeo de las opiniones personales del alumnado respecto la biotecnología aplicada a los humanos. Con una pregunta genérica de estar en favor o en contra se separa la clase en dos grupos. El profesor asigna números (1, 2, 3...) a los alumnos en ambas grupos, los que tienen el mismo número forman un grupo de 2. Así el aparear ocurre prácticamente al azar, pero con alguien que tiene convicciones contrarias. Los que quedan sin pareja del otro grupo se aparean entre sí.

Los grupos deben debatir si estarían dispuestos a intervenir en la genética de sus propios futuros hijos, en diferentes escenarios imaginados. Deben acompañar el debate con apuntar palabras claves, para poder resumir los argumentos al docente que va de mesa a mesa. (no se pide otra cosa de esta actividad)

Tabla 15. Ficha de la actividad Nr 8. - Biotecnología

Nr 8	Grupo de Actividades:	III.
Título de la Actividad 8:			sesiones	Tipo	
BIOTECNOLOGÍA aplicado a humanos			1	Básica	
Objetivos Didácticos:			Contenidos:	Competencias Clave:	
OD1, OD2, OD3, OD4, OD5			C5, C6, C7, C8, C10	CMCT, AA, CSC, CL, (CD)	
sesión	Desarrollo de las actividades:				Tiempo
1	véase en texto				
Lugar de Realización:		Recursos:		Agrupamiento:	
Aula Ordinaria,				grupos de 2 - con afinidades contrarias	

EVALUACIÓN

Criterios de Evaluación:	Estándares de Aprendizaje:
CE5, CE6, CE7, CE8, CE10	EA5, EA6, EA7, EA8, EA10
Procedimientos:	Observación directa (del debate)
	Análisis
Medio/Instrumentos :	Debate
	Lista de Cotejo (Tabla 23)

Fuente: Elaboración propia

Actividad 9. Ensayo con posibilidad de elección (Ficha en Tabla 16)

Basado en todas las sesiones de la Unidad Didáctica. Hay que elaborar un ensayo de uno de los siguientes cinco temas de los que han sido tratado en las actividades a lo largo de la Unidad:

Opción A: BIOTECNOLOGÍA aplicado a humanos (Actividad 8)

Opción B: Descripción básica del Proyecto Genoma Humano, sus hallazgos y las grandes preguntas que siguen abiertos. (Actividad 7)

Opción C: Descripción de los argumentos alrededor del origen del Coronavirus, Natural o Artificial. (Actividad 4)

Opción D: Comparar el concepto “Información” entre genes (ADN) y ordenadores, luego entre genes (ADN) e idiomas naturales. (Actividad 6)

Opción E: La relación del ADN con la célula, el organismo y la población (Actividad 5) (Esta opción solamente se permite a los alumnos que han tenido dificultades considerables con las otras actividades).

Extensión: Entre 2 y 4 caras, Calibri, 12 puntos.

Se empieza a reunir material (lluvia de ideas) en la clase, la redacción se termina como deberes, a entregar en 7 días.

Está permitido tomar inspiración en los murales o plantillas TBL (compara-contrasta y parte-todo) de otros grupos, indicando como “fuente” en el trabajo escrito.

Tabla 16. Ficha de la actividad Nr 9. - Ensayo

Nr 9	Grupo de Actividades:	I.	II.	III.		
Título de la Actividad 9:				sesiones		
Redacción de Ensayo - Libre elección entre 5 opciones				1		
Objetivos Didácticos:		Contenidos:	Competencias Clave:			
OD1, OD2, OD3, OD4, OD5		C5, C6, C7, C8, C10	CMCT, AA, CL, CD			
sesión	Desarrollo de las actividades:			Tiempo		
1	véase en texto					
Lugar de Realización:		Recursos:	Agrupamiento:			
Aula Ordinaria, Hogar			Individual			
E V A L U A C I Ó N						
Criterios de Evaluación:		Estándares de Aprendizaje:				
CE5, CE6, CE7, CE8, CE10		EA5, EA6, EA7, EA8, EA10				
Procedimientos:		Observación directa (del proceso de trabajo)				
		Análisis (del Ensayo)				
Medio/Instrumentos :		Ensayo entregado				
		Rúbrica (Tabla 24)				

Fuente: Elaboración propia

3.3.7. Evaluación

Se persigue una diversidad en los métodos de la evaluación. No hay examen final, sino un ensayo final (actividad 9) con libre elección entre los temas que han sido trabajados a lo largo de la Unidad. Para la evaluación de este ensayo y para las dos actividades largas (nr. 4 y 7) se ofrecen rúbricas, que se ven en las tablas 19, 22 y 24. Para los demás actividades se ofrecen listas de cotejo: Tablas 17-18, 20-21 y 23.

El alumnado tiene acceso a estos instrumentos antes de las actividades, para que tengan conciencia sobre la manera de valoración de su trabajo.

En las listas de cotejo los alumnos están invitados a autoevaluarse después de las actividades. El docente toma nota de los ítems donde la autoevaluación del alumno discrepa del docente, y lo puede discutir con el alumno.

Con las rúbricas la idea es que estén en un fichero Excel que calcula. La puntuación es calculada por Excel en función de Nivel logrado (lo que se ha elegido en la columna “Nivel”) y el peso porcentual de la categoría (segunda columna). La calibración de los puntos debe ser tal que el total máximo es siempre 10. Nivel 1 (suspenso) no da puntos. La nota de aprobado (nota 5) corresponde a tener por lo menos un Nivel 2 (aprobado) en todos los ítems de los rúbricas. Y tener por lo menos la mitad “Sí” en todos los ítems en los listas de cotejo.

La **actividad 1.** incluye una evaluación inicial. Las respuestas a las cuatro preguntas proporcionan información para el docente sobre los conocimientos y convicciones previos de los alumnos. Este información puede y debe ser utilizado en el trascurso de todas las actividades, por ejemplo en el momento de dialogar con un alumno o para la formación de grupos. Pero la actividad 1 no es exclusivamente una evaluación inicial. También tiene aspectos de concienciar a los alumnos sobre sus propios conocimientos y convicciones y de refrescar lo que han aprendido en 4º de ESO.

La figura 2 muestra el código de colores que se utiliza en algunas tablas de Capítulo 3.3.7.

Figura 2.: Códico de colores en las tablas de evaluación

Contenidos
Requerimientos formales
Parte voluntaria, adicional
Procesos de pensamiento

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Lista de Cotejo para la **Evaluación de la Actividad 2.** (Mendel)

	Sí	No
Muestra claras señales de haber interiorizado la importancia de los descubrimientos de Mendel		
Aporta argumentos pertinentes para explicar el fenómeno en cuestión. (Lo extraño en que la comunidad científica ha tardado 35 años en darse cuenta de la importancia de descubrimientos de Mendel)		
Los argumentos son numerosos		
Los argumentos son convencientes		
Hay coherencia en en texto entregado		
La ortografía del texto es correcta		

	Sí	No
Ha llevado a cabo la parte voluntaria (investigar entre familiares/conocidos sobre sus conocimientos/posturas)		
La parte voluntaria es elaborada		
Muestra atención respecto los consejos de procesos de pensamiento		
Muestra esfuerzo de mejorar sus procesos de pensamiento		
Número de ítems con Sí / No:	(contar)	(contar)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Lista de Cotejo para la **Evaluación de la Actividad 3.** (Comparar sistemas genéticos)

	Sí	No
Aporta por lo menos tres diferencias		
Aporta por lo menos tres similitudes		
Compara solamente a los sistemas genéticos. (Evita la comparación de otros aspectos de los dos organismos)		
Sabe ubicar la información genética		
Expresa de algún modo comprensión del principio: gen => proteína => rasgo		
Evita en todas sus expresiones la creencia errónea que los rasgos surgen de genes sin el intermediario de proteínas.		
Involucra aspectos de evolución		
Las plantillas llenadas son visualmente atractivas (texto uniforme, bien distribuido etc.)		
Muestra atención respecto los consejos de procesos de pensamiento		
Muestra esfuerzo de mejorar sus procesos de pensamiento		
Número de ítems con Sí / No:	(contar)	(contar)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Rúbrica para la Evaluación de la Actividad 4. (Debate)

CATEGORÍA	Peso %	Nivel 1 (suspenso)	Nivel 2 (aprobado)	Nivel 3 (notable)	Nivel 4 (sobresaliente)	CC	NIVEL	PUNTOS
JUSTIFICACIÓN de posturas en el Debate	25%	La postura expresada carece de argumentación o solamente de forma muy breve y lo aportado no es válidos. Prácticamente no utiliza contenidos del artículo.	La postura expresada está argumentada con cierta extensión, pero los argumentos no son válidos. Utiliza solamente poco contenidos del artículo.	Justifica su postura con 1 o dos argumentos, relativamente bien razonados y estructurados. La argumentación está asentada en el artículo, tiene vertientes personales pero no están en equilibrio (predomina lo uno o lo otro)	Justifica su postura con 2 o más argumentos, muy bien razonados y estructurados. La argumentación está asentada en el artículo, tiene también vertientes personales, y los dos componentes están en equilibrio.	CMCT, AA, CL		
Exposición durante el Debate	20%	La falta de claridad y ritmo en la exposición es tal que estorbe mucho a la comprensión de lo expuesto. Prácticamente no mira nunca a los compañeros.	No habla con suficiente claridad, es demasiado rápido o lento, pero en general se entiende. Solamente mira a los compañeros muy de vez en cuando.	Habla con bastante claridad y ritmo adecuado durante la mayoría de la exposición. Mira a los compañeros con naturalidad y exhibe posturas y gestos adecuados la mayoría del tiempo.	Habla con claridad y ritmo adecuado durante toda la exposición. Mira a los compañeros con naturalidad y exhibe posturas y gestos muy adecuados.	CL, CSC		
PREPARACIÓN del debate - Trabajo con el artículo	25%	Prácticamente no entiende el artículo. No muestra señales de haber captado argumentos relevantes o solamente de forma errónea. Prácticamente no ha extraído material para el debate.	No entiende demasiado del artículo, pero claramente sí ha captado algunos argumentos. Se confunde bastante entre lo central/relevante y lo periférico. Extrae demasiado poco material para el debate.	Entiende bastante bien el artículo: Sigue las líneas generales de los argumentos, pero se confunde un poco entre lo central/relevante y lo periférico. Extrae material para el debate.	Entiende bien el artículo: Sigue los argumentos. Sabe distinguir entre lo central/relevante y lo periférico. Extrae con maña abundante material para el debate.	CMCT, AA, CL	DECIDIR Y ELEGIR el NIVEL LOGRADO de esta Categoría: 1, 2, 3 o 4 (segunda columna)	CALCULADO por Excel en función de Nivel logrado (lo que se ha elegido en la columna anterior) y el peso porcentual de la categoría (segunda columna)

CATEGORÍA	Peso %	Nivel 1 (suspenso)	Nivel 2 (aprobado)	Nivel 3 (notable)	Nivel 4 (sobresaliente)	CC	NIVEL	PUNTOS
INGLÉS del artículo	10%	Prácticamente no entiende el inglés. Ni siquiera mira todo el vocabulario que sería necesario para entender lo que lee.	Entiende el inglés con gran dificultad. Mira vocabulario y/o expresiones para entender lo que lee, pero no interioriza lo nuevo.	Entiende bastante bien el inglés. Aprende algo de nuevo vocabulario y/o expresiones.	Entiende bien el inglés. Aprovecha plenamente la oportunidad de aprender nuevo vocabulario y/o expresiones.	CL, AA		
INTERACCIÓN EN EL GRUPO	20%	Prácticamente no escucha a los otros. Falla a menudo al respeto en las contestaciones. Se escaquea del trabajo de forma inaceptable o se pone a hacerlo todo solo, como si no estuviera en un grupo.	Escucha de forma superficial a los otros, falla de vez en cuando claramente al respeto en las contestaciones. No se esfuerza demasiado por una repartición equilibrada de las tareas. (Se queda con mucho más o se escaquea)	Escucha a los otros, pero no siempre con debido atención y respeto. Sus contestaciones tienen en cuenta lo que ha dicho el otro, pero no siempre. Colabora, pero no se esfuerza todo lo necesario por una repartición equilibrada de las tareas. (se queda con más o se escaquea un poco)	Escucha con atención y respeto a los otros. Sus contestaciones tienen en cuenta lo que ha dicho el otro, de forma respetuosa. Se esfuerza por una repartición equilibrada de las tareas.	CSC		
PUNTUACIÓN TOTAL								(Max 10 pts)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Lista de Cotejo para la **Evaluación de la Actividad 5.** (Parte-Todo)

	Sí	No
<i>Los siguientes items se valoran para cada de las tres plantillas (Todo = célula, organismo o población)</i>		
Reune por lo menos 3 "partes" además del ADN		
El análisis está siempre enfocado en la función del ADN (Evita divagar)		
Contesta adecuadamente la pregunta ¿Que pasaría si faltarán estas partes? Para todas las partes identificadas		
Contesta adecuadamente la pregunta ¿Cuál es la función de las partes? Para todas las partes identificadas		
Contesta adecuadamente la pregunta ¿Cuál es la relación de las partes con el todo?		
<i>Los siguientes items se valoran para el conjunto de las tres plantillas:</i>		
Sabe ubicar la información genética		
Involucra aspectos moleculares de la evolución		
Las plantillas llenadas son visualmente atractivas (texto uniforme, bien distribuido etc.)		
Muestra interacción constructiva con los compañeros del grupo		
Muestra atención respecto los consejos de procesos de pensamiento		
Muestra esfuerzo de mejorar sus procesos de pensamiento		
Número de ítems con Sí / No:	(contar)	(contar)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Lista de Cotejo para la **Evaluación de la Actividad 6.** (Información)

	Sí	No
<i>Los siguientes items se valoran para cada de los dos plantillas (Genes/ADN comparado con Ordenadores y con Idiomas Naturales)</i>		
Aporta por lo menos tres diferencias		
Aporta por lo menos tres similitudes		
<i>Los siguientes items se valoran para el conjunto de los dos plantillas:</i>		
Sabe ubicar la información genética		
Involucra aspectos moleculares de la evolución		
Muestra algún comprensión respecto la información siendo una metáfora		
Las plantillas llenadas son visualmente atractivas (texto uniforme, bien distribuido etc.)		
Muestra interacción constructiva con los compañeros del grupo		
Muestra atención respecto los consejos de procesos de pensamiento		
Muestra esfuerzo de mejorar sus procesos de pensamiento		
Número de ítems con Sí / No:	(contar)	(contar)

Fuente: Elaboración propia

En la actividad 7. se hace uso de coevaluación. Todos los alumnos deben evaluar los otros murales (en cuya elaboración no han participado) aplicando la rúbrica. Se calcula la nota media de las evaluaciones de los alumnos. La nota del mural será la media entre este nota y el del docente.

Tabla 22. Rúbrica para Evaluación de la Actividad Nr 7. (Mural sobre la Genoma Humana)

CATEGORÍA	PESO %	Nivel 1 (suspenso)	Nivel 2 (aprobado)	Nivel 3 (notable)	Nivel 4 (sobresaliente)	CC	NIVEL	PUNTOS
Presentación	25%	El mural es visualmente desagradable en su totalidad y en la gran mayoría de sus detalles. Hay gran desproporción entre textos/ímágenes; colores molestos; calidad baja de la gran mayoría de las imágenes. Errores ortográficos graves y abundantes.	En su conjunto el mural no es agradable pero algunas partes aisladas sí lo son. Desproporción entre textos/ímágenes pero algunas sí son de cierta calidad, aisladamente. Hay errores ortográficos.	El mural es visualmente agradable pero tiene partes menos elaborados. La mayoría de los textos/ímágenes adecuadas pero no todas. Hay muy pocas y leves errores ortográficos.	El mural es visualmente muy atractivo y original, en su totalidad. Colores, tamaños y proporciones entre textos/ímágenes adecuadas. No hay errores ortográficos.	CL, CSC, (CEC)		
Calidad y Claridad del Contenido	30%	El contenido tiene demasiadas partes irrelevantes. Una parte significativa de la explicación no se entiende. Abundan los errores conceptuales.	El contenido no es de todo relevante y no demasiado bien explicado, pero se entiende. Hay bastantes o graves errores conceptuales que pueden estorbar algo a la comprensión.	El contenido es relevante y bastante bien explicado. Hay errores conceptuales, pero son pocas y leves, con que no estorban al cuadro general de comprensión.	El contenido es abundante, diverso, relevante y muy bien explicado. No hay ningún error conceptual.	CMCT, CL		
Potencial de Generar Debate	30%	No hay materia que podría ser materia de reflexión o debate. Ni hay mención de incertidumbres en la ciencia actual. (Simplemente presentación de datos y conocimientos actuales)	El mural incluye algo que podría ser materia de reflexión o debate, pero no es suficientemente claro. Hay leve indicación de incertidumbre(s) en la ciencia actual.	El mural ofrece algún planteamiento y material que invita a la reflexión y al debate. Trata preguntas ambiguas y/o expresa duda(s) sobre los actuales conocimientos de la ciencia.	El mural ofrece planteamientos provocativos y abundante material que claramente invita a la reflexión y al debate. Trata con maña preguntas ambiguas y/o expresa dudas sobre los actuales conocimientos de la ciencia.	AA, CMCT, CSC, CD		
El enfoque/planteamiento/pregunta elegido que NO viene en el libro de texto	15%	No se ha incluido nada así, o solamente hay leve mención de pequeños datos de curiosidad	Lo que se ha elegido no tiene relevancia conceptual, son solamente curiosidades, pero está bien desarrollada en el Mural o se argumenta bien por su importancia (oralmente o en el mural).	Se ha incluido algo con relevancia conceptual en el Mural, pero la argumentación por su importancia es débil	Se ha elegido algo con gran relevancia conceptual y se argumenta bien por su importancia	AA, CMCT, CD		
PUNTUACIÓN TOTAL								(Max 10 pts)
								CALCULADO por Excel en función de Nivel logrado (lo que se ha elegido en la columna anterior) y el peso porcentual de la categoría (segunda columna)
								DECIDIR Y ELEGIR el NIVEL LOGRADO de esta Categoría: 1, 2, 3 o 4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Lista de Cotejo para la **Evaluación de la Actividad 8.** (Biotecnología)

	Sí	No
Expresa seriedad en el ejercicio, mostrando que el escenario de decisión podría ser realmente la suya en un momento del futuro		
Presenta argumentos de calidad en apoyo de sus posturas		
Expresa respeto por las posturas del otro		
Expresa repercusiones sociales y económicas de la reproducción asistida (EA5)		
Expresa posibilidades que ofrece la clonación en diferentes campos (EA6)		
Incluye en su argumentación los avances científicos relacionados con la genética, sus usos y consecuencias médicas y sociales (EA7)		
Se nota claramente que ha buscado información adicional en internet (además de lo que viene en el libro de texto y es conocimiento general) (EA8)		
Muestra atención respecto los consejos de procesos de pensamiento		
Muestra esfuerzo de mejorar sus procesos de pensamiento		
Número de ítems con Sí / No:	(contar)	(contar)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Rúbrica (o Lista de Cotejo) para la **Evaluación de la Actividad 9.** (Ensayo)

CATEGORÍA	Peso %	Nivel 1 (suspensos)	Nivel 2 (aprobado)	Nivel 3 (notable)	Nivel 4 (sobresaliente)	CC	NIVEL	PUNTOS
Claridad del Contenido	25%	El contenido tiene demasiadas partes irrelevantes. Una parte significativa de la explicación no se entiende. Abundan los errores conceptuales.	El contenido no es de todo relevante y no demasiado bien explicado, pero se entiende. Hay bastantes o graves errores conceptuales que pueden estorbar algo a la comprensión.	El contenido es relevante y bastante bien explicado. Hay errores conceptuales, pero son pocas y leves, con que no estorban al cuadro general de comprensión.	El contenido es abundante, diverso, relevante y muy bien explicado. No hay ningún error conceptual.	CMCT		
Calidad de Formulación	25%	El texto está lleno de imprecisiones conceptuales. La línea de argumentación tiene tantos saltos que la comprensión del contenido es gravemente impactada.	La formulación es algo pobre. Tiene muchas imprecisiones conceptuales; repite mucho a las mismas palabras. La línea de argumentación tiene muchos saltos, pero más o menos se entiende.	Bien formulada. Bastante precisión del vocabulario empleado. Bastante esfuerzo por diversificar las palabras, solamente se repite un poco. La argumentación está bien hilada en su mayoría.	Formulación fluida. Plena precisión y riqueza del vocabulario empleado. Todas las frases y párrafos están bien hiladas.	CL, CMCT		
JUSTIFICACIÓN de posturas	20%	Las posturas expresadas carecen de argumentación o solamente de forma muy breve y lo aportado no es válidos. No utiliza fuentes.	La postura expresada está argumentada con cierta extensión, pero los argumentos no son válidos. Utiliza solamente muy poco contenido de fuentes.	Justifica su postura con 1 o dos argumentos, relativamente bien razonados y estructurados. La argumentación está asentada en fuentes, tiene vertientes personales pero no están en equilibrio (predomina lo uno o lo otro)	Justifica sus posturas con 2 o más argumentos, muy bien razonados y estructurados. La argumentación está asentada en fuentes, tiene también vertientes personales, y los dos componentes están en equilibrio.	CMCT, AA, CL		

DECIDIR Y ELEGIR el NIVEL LOGRADO de esta Categoría: 1, 2, 3 o 4

CALCULADO por Excel en función de Nivel logrado (lo que se ha elegido en la columna anterior) y el peso porcentual de la categoría (segunda columna)

CATEGORÍA	PESO %	Nivel 1 (suspensión)	Nivel 2 (aprobado)	Nivel 3 (notable)	Nivel 4 (sobresaliente)	CC	NIVEL	PUNTOS
Otros señales de Procesos de Pensamiento	20%	El texto no muestra ni siquiera intención de pensamiento crítico o creativo. Todos los temas tratados siguen el planteamiento más corriente o estándar.	El texto muestra alguna intención de pensamiento crítico o creativo. Por ejemplo, un intento de tratar las materias de una forma algo distinto de lo más común.	El texto muestra cierta tendencia de pensamiento crítico o creativo. Por ejemplo posturas/enfoques de cierta originalidad.	El texto tiene elementos claros de pensamiento crítico o creativo. Por ejemplo posturas/enfoques originales o conexiones novedosas entre temas.	AA, CMCT		
Ortografía	10%	Abundan los errores ortográficos.	Bastantes errores ortográficos	Pocas errores ortográficos.	Sin errores ortográficos.	CL		
PUNTUACIÓN TOTAL								(Max 10 pts)

Fuente: Elaboración propia

3.4. Evaluación de la propuesta

La figura 3 muestra un DAFO de la propuesta.

Figura 3.: DAFO de la Propuesta de Intervención.

Análisis DAFO de la propuesta de intervención	
DEBILIDADES	AMENAZAS
Ambigüedades con la denominación 'TBL'. A día de hoy es casi una marca empresarial, y no tiene suficiente literatura académica. 'Infusión' en el título de la propuesta sería una palabra académicamente más correcta, pero es un término técnico, poco conocido para el público.	Falta de comprensión y apoyo de la dirección y/o de compañeros de trabajo
Si el profesor no tiene experiencia, puede ser complicado mantener un equilibrio entre contenidos curriculares e instrucciones sobre destrezas de pensamiento.	Cuestiones sensibles en genética pueden generar escenarios en la aula que son complicados de manejar
La gestión del tiempo puede ser un desafío	TBL es quizás una metodología que se asocia con educación primaria y secundaria, no tanto con Bachillerato
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
El aprovechamiento de contenidos curriculares para entrenar destrezas de pensamiento	Sacar algún ejercicio de la UD e implementar de manera aislada en otros contextos educativos
Se aprovecha el potencial de la genética para generar problemáticas cognitivamente desafiantes	Inspirar a otras disciplinas de ciencia escolar para emplear infusión (TBL o similar)
Se entrena manejar a lo ambiguo; una característica del mundo moderno que puede ser desconcertante	
Siendo los ejercicios originales, pueden por eso ser motivadores para los alumnos	
Se puede llegar a una comprensión profunda de los conceptos trabajados	
Interdisciplinariedad	

Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones

Las conclusiones de este trabajo son:

Los antecedentes y las bases pedagógicas del *Thinking Based Learning (TBL)* surgen desde la preocupación por entrenar habilidades cognitivas de orden superior, expresada ya en la Taxonomía de Bloom. La clave de la metodología es la utilización de los propios contenidos curriculares para el entrenamiento explícito de destrezas de pensamiento. Esta vinculación se denomina infusión. Las pruebas de su eficacia frente a otras maneras de enseñar a pensar, fueron establecidas en la década de los años 80 y 90 del siglo XX. En el método son también importantes los organizadores gráficos, el uso de un lenguaje claro y el empleo del pensamiento colectivo, por ejemplo a través de debates. El proceso de cristalización del TBL fue fruto del trabajo de muchos investigadores procedentes de varios campos, siendo los dos más notables en la articulación y difusión del método los estadounidenses David Perkins y Robert Swartz.

Las ventajas de la aplicación de esta técnica metodológica en el aula radican en el aprovechamiento de los contenidos curriculares para entrenar el pensamiento crítico y creativo. Se trata de habilidades fundamentales para el éxito personal y laboral en la sociedad actual y futura. El método permite la transferibilidad de las destrezas de pensamiento adquiridas a otros campos y situaciones. La principal desventaja de su implementación es el reto de mantener el equilibrio en el uso de tiempo en el aula. Es decir, entre el repaso de los contenidos curriculares y la discusión sobre procesos de pensamiento. La solución es una elevada conciencia por parte del docente sobre este tema. Para una implementación eficaz, puede ser necesaria cierta reducción de los contenidos.

Los pasos a seguir para aplicar el *Thinking Based Learning* en el aula empiezan por buscar temas con suficiente potencial para ofrecer desafíos cognitivos a los alumnos. Buscamos temas complejos con ambigüedades y preferiblemente transversales. Temas que permitan formular preguntas que susciten discrepancias entre distintos alumnos, generando así debates enriquecedores. En el transcurso de las clases el docente debe cuidar el equilibrio en el uso del tiempo entre explicación de contenidos, instrucciones sobre pensamiento y la interacción social.

En la evaluación es imprescindible tener en cuenta también a los esfuerzos y resultados relacionados con procesos de pensamiento, no solamente los contenidos. De cierto modo el entrenamiento de las destrezas de pensamiento se pueden considerar consecución de la competencia clave 'Aprender a Aprender'.

Las dificultades de aprendizaje más comunes que presentan los alumnos en el aprendizaje de los contenidos de genética proceden de la incompleta o incorrecta comprensión de conceptos básicos (ADN, cromosoma, gen, herencia, carácter) y su aplicación. Una fuente de confusión que merece especial atención son los diferentes planos de interpretación del término 'gen'. Según el contexto, la palabra puede hacer referencia a un concepto instrumental (desde donde emana un carácter de un ser vivo, sin especificar cómo) pero también puede referirse a una entidad con realidad física: un trozo de la molécula ADN. Igualmente, la idea errónea que más repercusión psicosocial tiene, es el de determinismo genético. Refutar este error de pensamiento es un reto complejo para el docente, que debe empezar con la aclaración de los antedichos conceptos básicos. Otro reto educativo, más complicado aun, es el de ejercer una mirada crítica al concepto de "información" en genética. Se trata de una metáfora fructífera y tan arraigada, que la distinción entre su uso y abuso requiere extremada atención. Sin embargo, debido justamente a la dificultad y transversalidad de todos estos retos, se consideran materia excelente para ejercicios de *Thinking Based Learning*.

Los principales temas, estrategias y recursos didácticos que recomendamos utilizar para aplicar el TBL en el aula para la enseñanza de genética son:

- La dimensión histórica de la disciplina
- Los aspectos genéticos de la actual pandemia Covid19
- El proyecto genoma humano

A través de estos se deben atacar los retos resumidos en el apartado anterior.

Existen varias propuestas de TBL u otros enfoques de infusión que han sido aplicadas al aprendizaje de ciencias y han demostrado mejoras significativas en las habilidades de argumentación. En la implementación a gran escala de la infusión, la de la investigadora israelí Anat Zohar es una de las más relevantes. Aunque nunca se refiere al término 'TBL', su trabajo se basa en principios similares. Debido a su vasta experiencia, la lucidez de sus planteamientos

y además ser la investigadora, bióloga de formación, sus artículos han sido una importante fuente de inspiración para este TFM.

Pensamos que la propuesta didáctica “Genes para Pensar” desarrollada en este TFM permite trabajar diferentes competencias clave. Los contenidos genéticos tratados desde diferentes ángulos colaboran de manera potente a fortalecer a las Competencias Básicas de Ciencia y Tecnologías. La propuesta se esfuerza para ser original e incita así a los alumnos a reflexionar y debatir con el máximo uso de sus habilidades cognitivas de orden superior. Durante todos y cada una de las actividades, además de conducir los contenidos, el docente debe comentar explícitamente los procesos de pensamiento, cumpliendo así con los principios de infusión, que se consideran el fundamento de TBL. Debido a esta atención explícita y permanente que recibe la cognición, y a la demostrada transferibilidad de destrezas de pensamiento, la propuesta ayuda claramente a desarrollar la competencia Aprender a Aprender.

En cuanto las Competencias Sociales y Cívicas, también en línea con lo que marca el TBL, el pensamiento colectivo está incorporado en la médula de la mayoría de las actividades. Los escenarios cognitivamente desafiantes están siendo tratados en y para grupos de distintos tamaños, obteniendo así múltiples beneficios simultáneamente. Enriquecemos y ensanchamos a la cognición individual a través de la interacción con el pensamiento de otras personas, a la vez que entrenamos la competencia social.

Además de esto, y en consonancia con la lógica inherentemente trasversal de la asignatura “Cultura Científica”, lo que establecemos para las reflexiones y debates contienen en la mayoría de las actividades explícitamente una dimensión de la Sociedad.

La Comunicación Lingüística en castellano queda también fortalecida con las actividades, en sus formas verbal, leída y escrita, con atención especial al uso de un vocabulario que facilita la claridad de los pensamientos, tal como lo exige la metodología TBL. Una de las actividades de mayor duración se fundamenta en un artículo en inglés, con lo que también hemos incluido el entrenamiento las facultades de comprensión lectora de este idioma. Varias de las actividades exigen la búsqueda y valoración de información del Internet, con lo que también podemos considerar el cumplimiento de la competencia digital.

5. Limitaciones y prospectiva

5.1. LIMITACIONES

En algún momento a lo largo de la última década la plataforma original de Robert Swartz el National Center for Teaching Thinking (NCTT) se ha convertido en Center for Teaching Thinking (CTT). Con este cambio el antiguo página web (www.nctt.net) ha dejado de existir. Deduciendo de referencias en artículos de Swartz y de previos trabajos de fin de máster sobre TBL, la página nctt.net tenía mucho material valioso reunido. La material accesible en la nueva página web, el de CTT (www.thinktolearn.org) no posee profundidad académica. Este “cierre” se considera una limitación para este trabajo.

No ha habido limitaciones a la hora de encontrar bibliografía publicada en revistas de acceso restringido.

5.2. PROSPECTIVA

La esperanza principal para el futuro es que la propuesta de intervención “Genes para Pensar” se lleve a cabo en un Centro para comprobar su éxito. En caso afirmativo, podría seguir también en otros Centros y/o servir de inspiración para otras Unidades de Cultura Científica. Luego por sus características de transversalidad en sus contenidos curriculares entre ciencias naturales y sociedad, esta asignatura se puede considerar adecuada como “laboratorio de ideas”. En la futura evolución de innovación educativa se pueden quizás adaptar algunas ejercicios de “Genes para Pensar” también a la asignatura Biología y Geología.

Además de esto, nuestro deseo y esperanza es que este TFM pueda servir de inspiración para futuros trabajos académicos, no solamente en TBL sino también en metodologías educativas emparentadas. Tal como fue indicado en capítulo 2.1, el cimiento de este trabajo no se limita estrictamente a la metodología denominada TBL. Tanto el marco teórico como la propuesta de intervención tiene en mente toda la familia de metodologías que se basan en la infusión y poseen el afán de entrenar facultades cognitivas de orden superior en el alumnado, a lo cual la transversalidad es una arena potente. Con raíz en lo expuesto en el capítulo 2.4, envisionamos por ejemplo un posible trabajo futuro que investigue a fondo las experiencias de implementación (a gran escala) de infusión/TBL en Israel, Irlanda del Norte, Nueva Zelanda, Singapur o Malasia, para extraer elementos útiles en un contexto español.

Referencias bibliográficas

- Aivelo, T. y Uitto, A. (2019).** Teachers' choice of content and consideration of controversial and sensitive issues in teaching of secondary school genetics. *International Journal of Science Education*, 41(18), 2716-2735.
- Camarero, A.** (9 de Mayo 2021). El necesario factor humano. *El País*. <https://elpais.com/extra/2021-05-08/el-necesario-factor-humano.html> (Las áreas de investigación de la profesora Isabel Gutiérrez Calderón se especifican en: https://www.uc3m.es/ss/Satellite/UC3MInstitucional/es/Detalle/Organismo_C/1371206550314/1371206550470/Isabel_Gutierrez_Calderon)
- Decreto 52/2015, de 21 de mayo**, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el currículo del Bachillerato. http://www.bocm.es/boletin/CM_Orden_BOCM/2015/05/22/BOCM-20150522-3.PDF
- Ennis, R. H. (1989).** Critical thinking and subject specificity: Clarification and needed research. *Educational Researcher*, 18(3), 4-10.
- Fernández, I., Gil-Pérez, D., Valdés, P. y Vilches, A. (2005).** ¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos. *Cómo promover el interés por la cultura científica*, 29-62.
- Forehand, M. (2010).** Bloom's Taxonomy - Emerging Perspectives on Learning, Teaching and Technology. <https://www.d41.org/cms/lib/IL01904672/Centricity/Domain/422/BloomsTaxonomy.pdf>
- Gallagher, C., Hipkins, R. y Zohar, A. (2012).** Positioning thinking within national curriculum and assessment systems: Perspectives from Israel, New Zealand and Northern Ireland. *Thinking Skills and Creativity*, 7(2), 134-143.
- Holmes, E. C., Goldstein, S. A., Rasmussen, A. L., Robertson, D. L., Crits-Christoph, A., Wertheim, J. O., ... y Rambaut, A. (2021).** The origins of SARS-CoV-2: a critical review. *Cell* 184 <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.08.017>
- Jacob, F. (1970).** *La logique du vivant. Une histoire de l'hérédité*. Gallimard. (En español: *La lógica de lo viviente. Una historia de la herencia*. Tusquets)

Koopman, C. (2020). Coding the Self: The Infopolitics and Biopolitics of Genetic Sciences *Hastings Center Report* 50, 6-14. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/hast.1150>

Kay, L. (2000). *Who Wrote the Book of Life? A history of the genetic code.* Stanford University Press

Martínez Abarca, L. (2017). Los Colegios CEU enriquecen su modelo educativo , nos lo explica su Director. Video YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=JeR97Wch1Uoyt=289s> ("TBL" se pronuncia en minuto 4.51). Una transcripción se ve aquí, pero sin mención explícito por escrito de "TBL" <https://www.colegioceuclaudiocoello.es/blog/el-director-de-colegios-ceu-explica-el-nuevo-modelo-educativo-del-colegio/>

Mead, R., Hejmadi, M. y Hurst, L. D. (2017). Teaching genetics prior to teaching evolution improves evolution understanding but not acceptance. *PLoS biology*, 15(5)

Moltó, D. (4 de Marzo 2015). Robert Swartz: 'Hay que enseñar a pensar más que a memorizar'. *El Mundo.* <https://www.elmundo.es/comunidad-valenciana/2015/02/10/54d901f7ca474190438b456c.html>

Mills Shaw, K. R., Van Horne, K., Zhang, H. y Boughman, J. (2008). Essay contest reveals misconceptions of high school students in genetics content. *Genetics*, 178(3), 1157-1168.

Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato. BOE - Boletín Oficial del Estado, núm. 25, de 29 de enero de 2015, pp. 6986-7003. <https://www.boe.es/eli/es/o/2015/01/21/ecd65>

Perkins, D. N. y Salomon, G. (1989). Are cognitive skills context-bound?. *Educational researcher*, 18(1), 16-25.

Perkins, D. N. y Grotzer, T. A. (1997). Teaching intelligence. *The American Psychologist*, 52(10), 1125-1133

Perkins, D. (2017). *Educar para un mundo cambiante: ¿Qué necesitan aprender realmente los alumnos para el futuro?* Ediciones SM España. (Original: Future Wise. Educating Our Children for a Changing World, 2015)

RAE Taxonomía, (s.f.). Real Academia Española. Diccionario de la lengua española. <https://dle.rae.es/taxonom%C3%ADA>

Resnick, L. B. y Klopfer, L. E. (1989). Toward the Thinking Curriculum: An Overview. In: *Toward the Thinking Curriculum: Current Cognitive Research. 1989 ASCD Yearbook*. Association for Supervision and Curriculum Development,

Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. Boletín Oficial del Estado, núm. 3, de 3 de enero de 2015, pp. 169 a 546. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-37

Santos, V. C., Joaquim, L. M. y El-Hani, C. N. (2012). Hybrid deterministic views about genes in biology textbooks: A key problem in genetics teaching. *Science y Education*, 21(4), 543-578. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9348-1>

Sanz de Acedo Lizarraga, M. L., Sanz de Acedo Baquedano, M. T., Goicoa Mangado, T. y Cardelle-Elawar, M. (2009). Enhancement of thinking skills: Effects of two intervention methods. *Thinking Skills and Creativity*, 4(1), 30.

Siew, N. M. y Mapeala, R. (2016). The effects of problem-based learning with thinking maps on fifth graders' science critical thinking. *Journal of Baltic Science Education*, 15(5), 602-616.

Solbes, J., Furió, C., Domínguez, M. C., Fernández, J., Tarín, F. y Guisasola, J. (2012). What factors have an influence on A quality teaching practice in sciences? *Procedia, Social and Behavioral Sciences*, 46, 4513-4517. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.287>

Solbes, J., Montserrat, R. y Más, C. F. (2007). Desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, (21), 91-117.

Swartz, R. J., Costa, A. L., Beyer, B. K., Reagan, R. y Kallick, B. (2008). *Thinking-Based Learning: Promoting Quality Student Achievement in the 21st Century*. Teachers College Press. (En español: *El Aprendizaje Basado En El Pensamiento: Cómo desarrollar en los alumnos las competencias del siglo XXI*. de lo cual primer capítulo disponible libremente en el Internet: <https://aprenderapensar.net/wp-content/uploads/2013/05/Elaprendizajebasadoenelpensamiento.pdf>)

Swartz, R. J. (2008b). Thinking-Based Learning. Making the Most of What we Have Learned About Teaching Thinking in the Regular Classroom to Bring Out the Best in Our Students. *Educational Leadership* 65(5), 1-24. (Revisado y expandido en 2014)

Swartz, R. (2012). Infusing instruction in thinking into content instruction: What do we know about its success. *Sri Lanka Journal of Educational Research*, 3, 1-39.

Swartz, R. y McGuinness, C. (2014). Developing and assessing thinking skills. *The International Baccalaureate Project*.

Teruel, A. (22 Abr 2013). François Jacob, Nobel de Medicina de 1965 y miembro de la Resistencia. Obituario, *El País*. https://elpais.com/sociedad/2013/04/22/actualidad/1366661174_796637.html

Thörne, K. y Gericke, N. (2014). Teaching genetics in secondary classrooms: A linguistic analysis of teachers' talk about proteins. *Research in Science Education*, 44(1), 81-108.

Torrecilla, J. S; Gutiérrez-de-Rozas, B. y Cancilla, J. C. (2021). Thinking-Based Learning at Higher Education Levels: Implementation and Outcomes within a Chemical Engineering Class. *Journal of chemical education* 98(3), 774-782.

Zoller, U. (2015). Research-based transformative Science/STEM/STES/STESEP education for "Sustainability thinking": From teaching to "Know" to learning to "Think". *Sustainability* (Basel, Switzerland), 7(4), 4474-4491. <https://doi.org/10.3390/su7044474>

Zohar, A. y Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), 35-62.

Zohar, A. (2008). Teaching thinking on a national scale: Israel's pedagogical horizons. *Thinking Skills and Creativity*, 3(1), 77-81.

Zohar, A. y Cohen, A. (2016). Large scale implementation of higher order thinking (HOT) in civic education: The interplay of policy, politics, pedagogical leadership and detailed pedagogical planning. *Thinking Skills and Creativity*, 21, 85-96. Accessible en: https://8150f816-c79e-4b78-8af0-c2c7c65ae514.filesusr.com/ugd/7bbb6f_25803d4106434bd1abb15c247f608039.pdf

Zulkpli, Z., Abdullah, A. H., Kohar, U. H. A. y Ibrahim, N. H. (2017). A review research on infusion approach in teaching thinking: advantages and impacts. *Man in India*, 97(12), 289-298.

Bibliografía

Andonegi-Santamaría, A. (2016). Propuesta de intervención sobre el método *Thinking Based Learning* (TBL) aplicado a los proyectos prácticos de Tecnología de 1º de ESO (TFM UNIR)
<https://reunir.unir.net/handle/123456789/3988>

Anguita Virella, F., Carrión Vazquez, M., Cerezo Gallego, J.M., Fernández García, L., Henche Ruiz, A.I., Hidalgo Moreno, A.J. y Sánchez Gómez, D. (2015). *Cultura Científica*. Santillana. (Libro de Texto)

Colegio Alcaste (2017). EL COLEGIO ALCASTE CERTIFICADO COMO CENTRO TBL POR ROBERT SWARTZ . <https://alcaste.com/el-colegio-alcaste-certificado-como-centro-tbl-por-robert-swartz/>

Colegio Lope de Vega (s.f.) Pensamiento Crítico y Creativo.
<https://www.youtube.com/watch?v=S2r5nXUu9x8>

Colegio Munabe (2015). PROYECTO TBL: *Thinking Based Learning*
<https://munabe.com/proyecto-tbl-thinking-based-learning/>

Ferrandiz-Díaz, N. (2019). *Análisis y comprensión de la revolución genética utilizando un enfoque CTS en la enseñanza de la materia cultura científica para 1º de bachillerato* (TFM, UNIR)

Foro de la web de física (2015). ¿Cultura científica o religión?
<https://forum.lawebdefisica.com/forum/el-aula/orientaci%C3%B3n/32828-%C2%BFcultura-cient%C3%ADfica-o-religi%C3%B3n> (Consultado 15 de sept 2021)

Galloway, B. (2007) Thinking and Writing: An Action Research Project. Unpublished. (Era antes accesible en www.nctt.net. La página no existe a día de hoy y este informe no se ha migrado al nuevo página de CTT. Obtenido a través de contacto directo con Robert Swartz.)

Hashim, H.; Norawi Ali, M. y Ali Shamsudin, M. (2017). Infusing High Order Thinking Skills (HOTs) through Thinking Based Learning (TBL) during ECA to enhance students interest in STEM. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences* 7(11), 1191-1199.

Jablonka, E. (2002). Information: Its interpretation, its inheritance, and its sharing. *Philosophy of science*, 69(4), 578-605.

Maynard Smith, J. (2000). The Concept of Information in Biology. *Philosophy of Science*, 67(2), pp. 177-194.

Pigliucci, M. y Boudry, M. (2011). Why machine-information metaphors are bad for science and science education. *Science y Education*, 20(5), 453-471. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9267-6>

Ravanal, E. y Quintanilla, M. (2010). Caracterización de las concepciones epistemológicas del profesorado de Biología en ejercicio sobre la naturaleza de la ciencia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 111-124.

Anexo A. Implementación de TBL en España

A lo largo de la última década, una serie de colegios en España han implementado TBL, por ejemplo el Colegio Internacional Lope de Vega en Benidorm en 2011 (Colegio Lope de Vega, s.f.), Alcaste en La Rioja (Colegio Alcaste, 2017) y Munabe en País Vasco (Colegio Munabe, 2015). Todos estos tres colegios transmiten una experiencia positiva y fructífera, tanto por parte de docentes como los alumnos, pero las fuentes accesibles en internet no son suficientemente profundos para poder extraer un análisis académico. Sin embargo sí hemos podido observar algo relevante sobre la manera de integrar TBL en la propuesta educativa de los colegios CEU, una institución católica (Martínez Abarca, 2017). Señalan expresamente al pensamiento crítico y creativo como elemento fundamental en la construcción de la identidad de los alumnos, encima de lo cual se edifican los otros valores, empleando otras metodologías didácticas. De todas las experiencias españolas revisadas, este es el que más explícitamente muestra la capacidad de TBL de ser utilizado como “un módulo” junto con otros métodos y sistemas de valores.

A día de hoy (otoño 2021) Robert Swartz sigue activo en la empresa ahora llamada Center for Teaching Thinking (CTT) que tiene oficina también en Madrid.

La página web actual de la empresa es: www.thinktolearn.org (La antigua página de NCTT, National Center for Teaching Thinking ya no existe.)

Página Facebook: <https://www.facebook.com/teachthink/>

El número de teléfono que viene en esta página Facebook (913 20 80 70) no es directamente de CTT sino de la recepcionista del parque empresarial en que esta ubicado la oficina. Dirección: Calle López de Aranda 35, 28027 Madrid, Spain. Según la recepcionista el señor Robert Swartz está a menudo presente allí físicamente.

Anexo B Monitorizar la clase TBL

Sugerencia para monitorizar el tiempo.

	Explicación Contenidos		Instrucciones sobre pensamiento		Interacción Social / Actividades	
	Tiempo Esperado	Tiempo Usado	Tiempo Esperado	Tiempo Usado	Tiempo Esperado	Tiempo Usado
Elemento1						
Elemento2						
Elemento3						
Elemento4						
Elemento5						
etc.						
SUMA Tiempo	sumar columna					
en proporción	"=suma/total"					

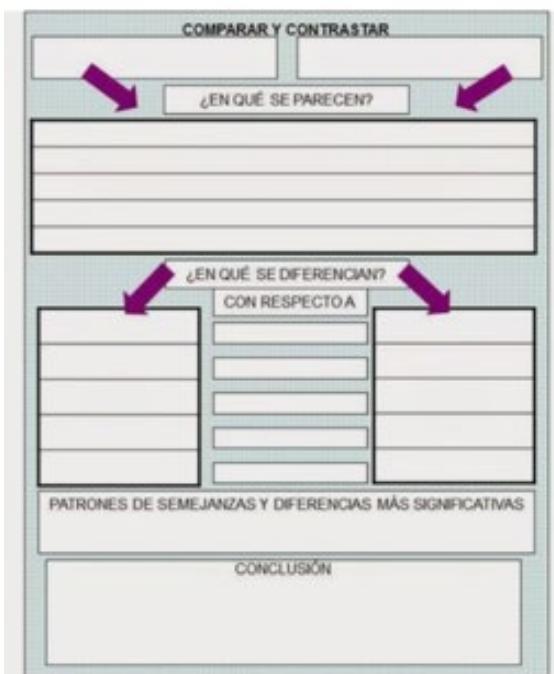
Fuente: Elaboración propia

Sugerencia para monitorizar el desarrollo de los alumnos. P.ej. con Escala liekert 1-4.

	Comprensión de Contenidos	Desarrollo en destrezas de pensamiento	Comentarios
Alumno1			
Alumno2			
Alumno3			
Alumno4			
etc.			

Fuente: Elaboración propia

Anexo C Organizadores Gráficos TBL



Organizador Gráfico COMPARA Y CONTRASTA (Temporal – luego pego uno que hago yo)

Un cartel para registrar el trabajo de cada equipo



Organizador Gráfico PARTE-TODO, Center for Teaching Thinking.

Anexo D Texto para la actividad 2: Cita de F. Jacob (1970)

En español: "La lógica de lo viviente. Una historia de la herencia." Tusquets, 2014 (2^a edición)
pp 199-200. ISBN: 978-8483106471

Traducido por Joan Senent y M. Rosa Soler

(Tras una comparación de los descubrimientos de Mendel con la termodinámica de Boltzmann):

"En ambos casos se logra extraer orden del azar mediante el tratamiento estadístico de poblaciones grandes. (...) Fue así como la herencia llegó a convertirse en objeto de análisis. En el método experimental, los humores, las fuerzas oscuras, los designios misteriosos que desde la antigüedad parecían moldear el carácter de los seres vivos, se sustituye por la materia, por partículas y por leyes. La representación de los seres vivos sufre una transformación total. En buena lógica, toda la práctica de la biología tenía que haberse trastocado, pero no fue así en absoluto. El caso de Mendel es un buen ejemplo de la imposibilidad de trazar una historia lineal de las ideas, (...). Si bien la obra de Mendel estaba en consonancia con la física de su tiempo, no tuvo influencia alguna sobre sus contemporáneos. El siglo XX hará de Mendel el creador de la genética y convertirá su documento en la partida de nacimiento de esta ciencia. (...) Aunque (Mendel) no era un profesional, se relacionó con algunos de los biólogos más eminentes del momento, a quienes describió detalladamente sus experiencias en una extensa correspondencia. Pero ninguno le hizo mucho caso. (...)"

¿Como puede afirmarse, entonces, que el espíritu está siempre a la espera de ideas nuevas para apoderarse de ellas y explotarlas, o que el desarrollo de las ciencias está guiado por la sola finalidad de la lógica? El pensamiento sólo puede maniobrar dentro del espacio que le otorga el enfoque del momento y en torno a los objetos de análisis que se le ofrecen. La genética se constituye como ciencia tras la transformación del estudio de la célula a finales del siglo XIX, cuando se precisa su estructura, se releva la existencia de los cromosomas (...)"