



## **TESIS DOCTORAL**

Análisis mixto sobre la docencia del metabolismo celular;  
el proyecto AQUAROCA.

**MANUEL RODAS LLANOS**

**PROGRAMA DE DOCTORADO: Investigación en la Enseñanza y el Aprendizaje de las Ciencias Experimentales, Sociales, Matemáticas y la Actividad Física y Deportiva.**

Conformidad del Director

Conformidad del Codirector

Dr. Javier Cubero Juárez

Dr. Alberto Muñoz Muñoz

Esta tesis cuenta con la autorización del director/a y codirector/a de la misma y de la Comisión Académica del programa. Dichas autorizaciones constan en el Servicio de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad de Extremadura.

**2023**



A Tere

Da sentido a todo

A Ana, Manuel y Carmen

Motivos de tantas dichas

## AGRADECIMIENTOS

A mis guías

Mucho ha llovido desde aquella tarde de mayo 2005 en la que me entrevisté por primera vez con D. Vicente Mellado y le comenté mis deseos de realizar una tesis doctoral en educación, pues era la profesión a la que me dedicaba. Tras solventar mis dudas me emplazó a que me matriculara al curso siguiente en los cursos de doctorado para obtener el por entonces famoso DEA y poder empezar a elaborar mi tesis. Fueron dos años en los que aprendí mucho de qué significa ser docente, pero sobre todo de cómo llevar a cabo mi profesión. Por entonces conocí a otros profesores que serían importantes a lo largo de estos años. El primero fue D. Constantino Ruiz, que me guiaría posteriormente en mi trabajo final y más tarde D. Ricardo Luengo con una frase que me marcó en lo sucesivo, la búsqueda de la “Idea Potente”, así mismo nos presentó a un novísimo doctor con una novísima idea del aprendizaje y de cómo plasmarlo en una imagen, de esa manera D. Luis Manuel Casas, nos presentaba su Teoría de los Conceptos Nucleares y su idea del aprendizaje geográfico. Aquello también caló en mí hasta tal punto, que hizo preguntarme cómo esa idea podía haber surgido de un matemático y no de un biólogo, teniendo en cuenta lo que se conocía ya del funcionamiento celular.

Con todo ello, comencé mi trabajo, pero la aparición del Espacio Europeo de Educación y la poca prisa que yo tenía, hicieron que el DEA se transformara en un Máster, el cual primero con la ayuda de Tino y luego de Vicente pude culminar en septiembre de 2009 sobre las concepciones erróneas para el concepto de higiene y de fermentación.

Siguiendo los consejos de Vicente, me tomé unos años sabáticos de la Tesis, pero la obsesión que tenía por el aprendizaje de los procesos metabólicos en general y fermentativos en particular me llevó a graduarme en Enología en 2014.

Por fin en octubre de 2015 me puse en contacto nuevamente con Ricardo para retomar mi tesis y me conmino a que hablara con D. Javier Cubero Juárez. En noviembre ya habíamos contactado y tras un interesante intercambio de opiniones sobre la importancia de la nutrición vs reproducción, le presenté mis desvelos con la enseñanza de la fermentación y la respiración celular.

Comencé mi trabajo observando como los errores se seguían repitiendo año tras año, lo que me producía cierto desasosiego como docente. En esa tesitura comencé a buscar una metodología que pudiera disminuirlos y favorecer unos aprendizajes realmente significativos del alumnado, y así gracias a mi querida compañera Paloma Moreno surgió Aquaroca, que lo cambió todo.

El nuevo proyecto tenía tantas posibilidades que, aconsejado por mi Director de Tesis, amplié mi investigación a los procesos anabólicos, fundamentalmente a la fotosíntesis, la cual también generaba multitud de errores conceptuales en el alumnado.

En el año 2021, llegó la estancia virtual y con ella el que sería a la postre mi codirector de tesis, D. Alberto Muñoz Muñoz.

Este ha sido un camino arduo en el que la paciencia, el buen hacer y el cariño de Javier en primer lugar, y posteriormente también de Alberto me han

guiado y en el que, sin el apoyo y ánimo recibidos en determinadas ocasiones, esta tesis no habría sido concluida. Muchas gracias a los dos.

Pero si guías han sido mis profesores, no lo han sido menos mis compañeros. Gracias África, Ruth, Cacho y José, gracias por creer en una utopía y por seguir manteniéndola a día de hoy.

Y por supuesto mis queridos alumnos, gracias por enseñarme cada día y por soportar estoicamente las “ocurrencias” de vuestro profesor.

Caminando he aprendido que más que la meta lo importante es el camino recorrido. Camino en el que he encontrado el hilo conductor de mi docencia en Biología, y por ello, solo puedo agradeceréoslo a todos de corazón. GRACIAS.

## RESUMEN

La investigación que se presenta, *Análisis mixto sobre la docencia del metabolismo celular; el proyecto AQUAROCA*, se asienta sobre las siguientes bases: la dificultad que entraña la docencia del metabolismo en el bachillerato, su importancia para la comprensión de los procesos vitales del conjunto de los seres vivos, y la búsqueda y aplicación de un proyecto educativo, paradigma del mundo real, que pueda ser empleado en nuestras aulas para mejorar el proceso de aprendizaje del alumnado.

El objeto principal de la investigación es el estudio comparativo entre dos metodologías de enseñanza en un centro educativo. Una tradicional y otra basada en el empleo de una metodología activa, el proyecto Aquaroca fundamentado en los procesos relativos a la acuaponía, en tanto en cuanto, suponen la construcción y mantenimiento de pequeños ecosistemas formados por productores, consumidores y descomponedores, esto es, diferentes organismos con diferentes metabolismos.

La hipótesis de trabajo inicial es que, partiendo de la misma base teórica y expuesta por el mismo docente, la utilización del proyecto Aquaroca, ofrece aprendizajes más eficaces y significativos para la comprensión de los conceptos relacionados con el metabolismo celular que el empleo de otra metodología más tradicional, empleada para el mismo fin.

Se ha recurrido a una metodología de investigación basada en un diseño cuasi-experimental y al mismo tiempo transversal, por ser considerado el más idóneo en el tratamiento de los datos que fueron analizados mediante una



metodología de tipo mixta (Cual-Cuantitativa) con el fin de obtener una visión de la realidad mejor y más sustantiva.

Los resultados de la investigación han confirmado la hipótesis principal planteada, esto es, que el alumnado del grupo Aquaroca presenta unos aprendizajes más significativos que los del grupo Control, pero además muestra la gran importancia que adquiere el docente en el proceso de Enseñanza-Aprendizaje, generando una mayor influencia en la elaboración de sus estructuras cognitivas.

## ABSTRACT

The research that is presented Mixed analysis on the teaching of cellular metabolism; The AQUAROCA project is based on the following foundations: the difficulty involved in teaching metabolism in high school, its importance for understanding the vital processes of all living beings, and the search for and application of an educational project, a paradigm from the real world, which can be used in our classrooms to improve the learning process of students.

The main object of the research is the comparative study between two teaching methodologies in an educational center. One traditional and the other based on the use of an active methodology, the Aquaroca project is based on processes related to aquaponics, as they involve the construction and maintenance of small ecosystems made up of producers, consumers, and decomposers, that is, different organisms with different metabolisms.

The initial working hypothesis is that, starting from the same theoretical base and exposed to the same teacher, the use of the Aquaroca project offers more practical and significant learning for the understanding of the concepts related to cellular metabolism than the use of another methodology. more traditional, used for the same purpose.

A research methodology based on a quasi-experimental and at the same time cross-sectional design has been used, as it is considered the most suitable in the treatment of the data that were analyzed through a "mixed methodology" (qualitative and quantitative approaches) to obtain a better and more substantive vision of reality.

The results of the research have confirmed the main hypothesis raised, that is, that the students of the Aquaroca group present more significant learning than that of the Control group, but it also shows the great importance that the teacher acquires in the Teaching-Learning process. They are generating a greater influence in the elaboration of their cognitive structures.

# ÍNDICE Y TABLAS

## Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
1.1	Justificación .....	2
1.2	Organización de la Tesis.....	4
2.	MARCO TEÓRICO .....	8
2.1	Antecedentes: Teorías del Proceso de Enseñanza y Aprendizaje.....	11
2.1.1	El Constructivismo origen de todo .....	16
2.1.2	La Teoría de la Asimilación .....	18
2.1.3	Otras aportaciones: El carácter social.....	20
2.1.4	Las ideas previas.....	22
2.1.5	El cambio conceptual.....	26
2.2	Cognición. Los Conceptos Nucleares y Redes Asociativas Pathfinder.....	30
2.3	Enseñanza y aprendizaje del Metabolismo I: contenidos .....	37
2.3.1	Metabolismo .....	39
2.3.2	Respiración Celular .....	46
2.3.3	Fermentación .....	55
2.3.4	Fotosíntesis .....	62
2.3.5	Los contenidos metabólicos en los libros de texto. ....	75
2.3.6	Los contenidos sobre el metabolismo en el currículo.....	90
2.4	Enseñanza y aprendizaje del Metabolismo II: metodologías.....	96
2.4.1	Aprendizaje basado en proyectos .....	98
2.4.2	Aprendizaje basado en problemas .....	100
2.4.3	Aprendizaje colaborativo.....	101

2.5	Acuaponía. Una metodología activa para la enseñanza científica del Metabolismo. ....	105
2.5.1	Fundamentos biológicos del sistema acuapónico. ....	110
2.5.2	El sistema acuapónico como recurso didáctico .....	112
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	118
3.1	Preguntas de Investigación .....	118
3.2	Hipótesis planteadas. ....	118
3.3	Objetivos. ....	120
3.3.1	Objetivo principal. Analizar la intervención activa mediante el proyecto Aquaroca para el conocimiento del Metabolismo. ....	120
3.3.2	Objetivo secundario: Análisis del Aprendizaje sobre los conceptos de Metabolismo, Fermentación, Respiración Celular y Fotosíntesis. ....	121
3.3.3	Relación entre Objetivos, Preguntas de Investigación e Hipótesis .....	122
4.	METODOLOGÍA. ....	126
4.1	Diseño de la investigación. ....	126
4.2	Metodología Didáctica. El proyecto AQUAROCA. ....	127
4.2.1	Antecedentes. ....	127
4.2.2	El Proyecto .....	128
4.3	Sujetos de estudio .....	139
4.4	Metodología de análisis mixto de la investigación .....	139
4.4.1	Instrumentos de Recogida de datos para Análisis Cualitativo y Cuantitativo 140	
4.4.2	Técnicas de Análisis de los datos cualitativos: WebQDA .....	155
4.4.3	Técnicas de Análisis de los datos cuantitativos: Estadística descriptiva e inferencial .....	158
5.	RESULTADOS .....	161
5.1	Metabolismo .....	163

5.1.1	Datos WEBQDA .....	163
5.1.2	Redes Pathfinder Metabolismo.....	169
5.1.3	Cuestionario Metabolismo.....	185
5.2	Respiración Celular.....	188
5.2.1	Datos WEBQDA .....	188
5.2.2	Redes Pathfinder Respiración Celular.....	195
5.2.3	Cuestionario Respiración Celular.....	211
5.3	Fermentación .....	214
5.3.1	Datos WEBQDA .....	214
5.3.2	Redes Pathfinder Fermentación.....	220
5.3.3	Cuestionario Fermentación.....	236
5.4	Fotosíntesis .....	239
5.4.1	Datos WEBQDA .....	239
5.4.2	Redes Pathfinder Fotosíntesis.....	245
5.4.3	Cuestionario Fotosíntesis.....	260
6.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	267
6.1	Discusión .....	267
6.1.1	Sobre el concepto de Metabolismo.....	272
6.1.2	Sobre el concepto de Respiración Celular.....	274
6.1.3	Sobre el concepto de Fermentación.....	276
6.1.4	Sobre el concepto de Fotosíntesis.....	277
6.2	Conclusiones.....	279
6.3	Fortalezas y limitaciones .....	284
6.3.1	Fortalezas.....	285
6.3.2	Limitaciones .....	286
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	288

8.	ANEXOS .....	317
8.1	Ejemplo de clase .....	318
8.2	Cuestionarios .....	341
8.2.1	Cuestionario 1 .....	342
8.2.2	Cuestionario F .....	343
8.2.3	Cuestionario ER.....	346

**NOTA: Aclarar que las referencias a personas o colectivos en género masculino se hacen por economía del lenguaje y deben entenderse como un género gramatical no marcado.**

## Abreviaturas

ADP	Adenosín Difosfato
ATP	Adenosín Trifosfato
CoA	Coenzima A
FAD	Flavín Adenín Dinucleótido o Dinucleótido de Flavina y Adenina (Oxidado)
FADH <sub>2</sub>	Flavín Adenín Dinucleótido o Dinucleótido de Flavina y Adenina (Reducido)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GDP	Guanosín Difosfato
GTP	Guanosín Trifosfato
ICR	Índice de Complejidad de las Redes
KNOT	Knowledge Network Organizing Tool
LHC	Light Harvesting Complexes o Complejo Antena
NAD <sup>+</sup>	Nicotinamida Adenina Dinucleotido (Oxidado)
NADH <sub>2</sub> o NADH + H <sup>+</sup>	Nicotinamida Adenina Dinucleotido (Reducido)
NADP <sup>+</sup>	Nicotinamida Adenina Dinucleotido Fosfato (Oxidado)
NADPH ó NADPH + H <sup>+</sup> ó NADPH <sub>2</sub>	Nicotinamida Adenina Dinucleotido Fosfato (Reducido)
NFT	Nutrient Film Technique o Técnica de Película de Nutrientes
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OPE	Objetivo Principal Específico
OSE	Objetivo Secundario Específico
PBL	Problem Based Learning o Aprendizaje Basado en Problemas
Pi	Fosfato Inorgánico
PI	Pregunta de Investigación
PSI	Fotosistema I



PSII	Fotosistema II
RAE	Real Academia Española
RAP	Red Asociativa Pathfinder
RC	Respiración Celular
RCB o RBC	Red de la Ciencia o Red Básica Conceptual
RD	Real Decreto
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences o Paquete Estadístico.
STEM	Science, Technology, Engineering & Maths o Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas.
TCN	Teoría de los Conceptos Nucleares
WebQDA	Qualitative Data Analysis Software o Software de Análisis Cualitativo de Datos



## Figuras

### ÍNDICE DE FIGURAS EN MARCO TEÓRICO

FIGURA MT 1. METABOLISMO GENERAL.....	45
FIGURA MT 2. GLUCÓLISIS.....	49
FIGURA MT 3. CICLO DE KREBS.....	51
FIGURA MT 4. CADENA TRANSPORTADORA DE ELECTRONES MITOCONDRIAL.....	52
FIGURA MT 5. FERMENTACIÓN LÁCTICA.....	59
FIGURA MT 6. FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.....	61
FIGURA MT 7. ESTRUCTURA BÁSICA DE LA CLOROFILA.....	65
FIGURA MT 8. FASE LUMINOSA.....	68
FIGURA MT 9. CICLO DE CALVIN.....	71
FIGURA MT 10. ADAPTACIÓN DEL SISTEMA ACUAPÓNICO.....	108
FIGURA MT 11. MAQUETA DEL PROYECTO AQUAROCA.....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS EN METODOLOGÍA

FIGURA M 1. ESQUEMA DEL PROCESO DE PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ACUAPÓNICO. .	129
FIGURA M 2. PROYECTOS AUXILIARES AL PROYECTO GENERAL AQUAROCA. ....	130
FIGURA M 3. PREPARACIÓN DEL SISTEMA HIDROPÓNICO. ....	131
FIGURA M 4. PREPARACIÓN DEL BIOFILTRO.....	132
FIGURA M 5. MONTAJE DEL PROTOTIPO DE LABORATORIO DEL SISTEMA ACUAPÓNICO. ....	132
FIGURA M 6. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ACUAPÓNICO .....	133
FIGURA M 7. SISTEMA ACUAPÓNICO.....	134
FIGURA M 8. ANALÍTICA DE LAS AGUAS DE LOS ACUARIOS.....	136
FIGURA M 9. FASES DEL PROCESO DIDÁCTICO.....	137
FIGURA M 10. PREPARACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS DE LABORATORIO. ....	138
FIGURA M 11. EXPLICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS ANALÍTICAS DE LOS ACUARIOS...	138
FIGURA M 12. EJEMPLO DE PREGUNTAS DEL CUESTIONARIO .....	143
FIGURA M 13. CONSULTA REALIZADA CON EL SOFTWARE WEBQDA .....	145
FIGURA M 14. INTERFAZ QUE PRESENTA EL PROGRAMA GOLUCA.....	149
FIGURA M 15. CUESTIONARIO DE RECOGIDA DE DATOS MEDIANTE HOJA DE CÁLCULO.....	150
FIGURA M 16. RED DE ANA OBTENIDA MEDIANTE GOOGLE FORM, .....	151
FIGURA M 17. RED DE ANA OBTENIDA MEDIANTE GOLUCA .....	152
FIGURA M 18. ARCHIVO KNOT OBTENIDO A PARTIR DE LA HOJA DE CÁLCULO. ....	153
FIGURA M 19. RED DE ANA OBTENIDA MEDIANTE LA HOJA DE CÁLCULO.....	154
FIGURA M 20. EJEMPLO DE MATRIZ TRIANGULAR .....	155
FIGURA M 21. ÁRBOL DE CÓDIGOS OBTENIDO CON WEBQDA .....	156

## ÍNDICE DE FIGURAS EN RESULTADOS

FIGURA R- 1. ESQUEMA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS .....	162
FIGURA R- 2. RESPUESTAS AL CONCEPTO DE METABOLISMO. ....	165
FIGURA R- 3. RESPUESTAS POSITIVAS AL CONCEPTO DE METABOLISMO. ....	167
FIGURA R- 4. RAP 1. RED MEDIA DEL GRUPO CONTROL PARA EL CONCEPTO DE METABOLISMO.....	171
FIGURA R- 5. RAP 2. RED MEDIA DEL GRUPO AQUAROCA PARA EL CONCEPTO DE METABOLISMO. ....	172
FIGURA R- 6. RAP 3. RED DE LA CIENCIA PARA EL CONCEPTO DE METABOLISMO .....	176
FIGURA R- 7. RAP 4. RED MEDIA DE LOS PROFESORES PARA EL CONCEPTO DE METABOLISMO .....	177
FIGURA R- 8. RAP 5. RED DEL PROFESOR PARA EL CONCEPTO DE METABOLISMO .....	178
FIGURA R- 9. RESULTADOS DEL CUESTIONARIO DE METABOLISMO.....	186
FIGURA R- 10. RESPUESTAS AL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN CELULAR. ....	191
FIGURA R- 11. RESPUESTAS POSITIVAS AL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN CELULAR. ....	193
FIGURA R- 12. RAP 6. RED MEDIA DEL CONTROL PARA EL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN CELULAR. ....	197
FIGURA R- 13. RAP 7. RED MEDIA DE AQUAROCA PARA EL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN CELULAR ....	198
FIGURA R- 14. RAP 8. RED DE LA CIENCIA PARA EL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN CELULAR. ....	202
FIGURA R- 15. RAP 9. RED MEDIA DE LOS PROFESORES PARA EL CONCEPTO RESPIRACIÓN CELULAR..	203
FIGURA R- 16. RAP 10. RED DEL DOCENTE PARA EL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN CELULAR. ....	204
FIGURA R- 17. RESULTADOS DEL CUESTIONARIO DE RESPIRACIÓN CELULAR.....	212
FIGURA R- 18. RESPUESTAS AL CONCEPTO DE FERMENTACIÓN.....	216
FIGURA R- 19. RESPUESTAS POSITIVAS AL CONCEPTO DE FERMENTACIÓN .....	218
FIGURA R- 20. RAP 11. RED MEDIA DEL GRUPO CONTROL PARA EL CONCEPTO DE FERMENTACIÓN....	222
FIGURA R- 21. RAP 12. RED MEDIA DEL GRUPO AQUAROCA PARA EL TÉRMINO FERMENTACIÓN. ....	223
FIGURA R- 22. RAP 13. RED DE LA CIENCIA PARA EL CONCEPTO DE FERMENTACIÓN. ....	227
FIGURA R- 23. RAP 14. RED MEDIA DE LOS PROFESORES PARA EL CONCEPTO DE FERMENTACIÓN ....	228
FIGURA R- 24. RAP 15. RED DEL PROFESOR PARA EL CONCEPTO DE FERMENTACIÓN .....	229
FIGURA R- 25. RESULTADOS DEL CUESTIONARIO DE FERMENTACIÓN.....	237
FIGURA R- 26. RESPUESTAS AL CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS. ....	241
FIGURA R- 27. RESPUESTAS POSITIVAS AL CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS.....	243
FIGURA R- 28. RAP 16. RED MEDIA DEL GRUPO CONTROL PARA EL CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS ....	246
FIGURA R- 29. RAP 17. RED MEDIA DEL GRUPO AQUAROCA PARA EL CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS..	247
FIGURA R- 30. RAP 18. RED DE LA CIENCIA PARA EL CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS. ....	251

FIGURA R- 31. RAP 19. RED MEDIA DE LOS PROFESORES PARA EL CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS .....	252
FIGURA R- 32. RAP 20. RED DEL PROFESOR PARA EL CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS.....	253
FIGURA R- 33. RESULTADOS DEL CUESTIONARIO DE FOTOSÍNTESIS. ....	261

## Tablas

### ÍNDICE DE TABLAS EN MARCO TEÓRICO

TABLA MT 1. RESUMEN DE LAS DIFERENCIAS ENTRE CATABOLISMO Y ANABOLISMO.....	44
--	----

### ÍNDICE DE TABLAS EN PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

TABLA P 1. RELACIÓN ENTRE LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN CREADAS, LAS HIPÓTESIS PLANTEADAS Y LOS OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN. ....	122
--	-----

### ÍNDICE DE TABLAS EN METODOLOGÍA

TABLA M 1. PREGUNTAS TIPO PARA EL CONCEPTO DE FERMENTACIÓN.. ....	142
TABLA M 2. CATEGORÍAS Y CÓDIGOS OBTENIDOS PARA LOS CUESTIONARIOS ABIERTOS .....	157

### ÍNDICE DE TABLAS EN RESULTADOS

TABLA R- 1. TABLA DE CHI CUADRADO PARA LAS RESPUESTAS OFRECIDAS POR LOS DOS GRUPOS DE ALUMNOS PARA EL CONCEPTO DE METABOLISMO Y ANALIZADAS CON WEBQDA. ....	166
TABLA R- 2. RESPUESTAS POSITIVAS OFRECIDAS POR LOS DOS GRUPOS DE ALUMNOS PARA EL CONCEPTO DE METABOLISMO .....	166
TABLA R- 3. PRUEBA U DE MANN-WHITNEY PARA LA VARIABLE "RESULTADOS POSITIVOS DEL METABOLISMO" .....	168
TABLA R- 4. TIPOLOGÍA DE CONCEPTOS EN LAS REDES MEDIAS PARA LA DEFINICIÓN DE METABOLISMO .....	170
TABLA R- 5 DATOS DE COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL Y DENSIDAD DE LAS REDES Y NÚMERO DE CONCEPTOS NUCLEARES PROPUESTOS POR LOS ALUMNOS DEL GRUPO CONTROL PARA EL CONCEPTO DE METABOLISMO.....	173
TABLA R- 6. DATOS DE COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL Y DENSIDAD DE LAS REDES Y NÚMERO DE CONCEPTOS NUCLEARES PROPUESTOS POR LOS ALUMNOS DEL GRUPO AQUAROCA PARA EL CONCEPTO DE METABOLISMO.....	174
TABLA R- 7. PRUEBA U DE MANN-WHITNEY PARA LAS VARIABLES "CONCEPTOS NUCLEARES", "DENSIDAD DE LA RED" E "I.C.R." PARA EL CONCEPTO DE METABOLISMO.....	175

TABLA R- 8. DATOS OBTENIDOS PARA CADA ALUMNO DEL GRUPO CONTROL CON EL PROGRAMA GOLUCA 3.1. SE RECOGEN LAS VARIABLES: "COHERENCIA", "ÍNDICE DE SIMILARIDAD CON LA RED DEL PROFESOR" E "ÍNDICE DE SIMILARIDAD CON LA RED DE LA CIENCIA" PARA EL CONCEPTO DE METABOLISMO.....	179
TABLA R- 9. DATOS OBTENIDOS PARA CADA ALUMNO DEL GRUPO AQUAROCA CON EL PROGRAMA GOLUCA 3.1. SE RECOGEN LAS VARIABLES: "COHERENCIA", "ÍNDICE DE SIMILARIDAD CON LA RED DEL PROFESOR" E "ÍNDICE DE SIMILARIDAD CON LA RED DE LA CIENCIA" PARA EL CONCEPTO DE METABOLISMO.....	180
TABLA R- 10. T DE STUDENT PARA MUESTRAS INDEPENDIENTES, DE LAS VARIABLES "COHERENCIA", "SIMILARIDAD CON LA RED DEL PROFESOR" Y "SIMILARIDAD CON LA RED DE LA CIENCIA" PARA EL CONCEPTO DE METABOLISMO. ....	182
TABLA R- 11. T DE STUDENT DE MUESTRAS DEPENDIENTES, A LAS VARIABLES "SIMILARIDAD CON LA RED DEL PROFESOR" Y "SIMILARIDAD CON LA RED DE LA CIENCIA" PARA LOS GRUPOS CONTROL Y AQUAROCA EN EL ESTUDIO DEL CONCEPTO DE METABOLISMO. ....	183
TABLA R- 12. ESTADÍSTICAS DE FIABILIDAD DEL CUESTIONARIO SOBRE EL METABOLISMO. RESUMEN DEL PROCESAMIENTO DE CASOS. ALFA DE CRONBACH. ....	185
TABLA R- 13. PUNTAJE TOTAL AGRUPADO DEL CUESTIONARIO DE METABOLISMO EN FUNCIÓN DE LA INTERVENCIÓN REALIZADA. ....	185
TABLA R- 14. PRUEBA U DE MANN-WHITNEY SOBRE LA VARIABLE "TOTAL AGRUPADA" DEL CUESTIONARIO DE METABOLISMO. ....	187
TABLA R- 15. TABLA DE CHI CUADRADO PARA LAS RESPUESTAS OFRECIDAS POR LOS DOS GRUPOS DE ALUMNOS PARA EL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN CELULAR Y ANALIZADAS CON WEBQDA.....	192
TABLA R- 16. RESPUESTAS POSITIVAS OFRECIDAS POR LOS DOS GRUPOS DE ALUMNOS PARA EL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN CELULAR.....	193
TABLA R- 17. PRUEBA U DE MANN-WHITNEY PARA LA VARIABLE " RESPUESTAS POSITIVAS DE LA RESPIRACIÓN CELULAR" .....	194
TABLA R- 18. TIPOLOGÍA DE CONCEPTOS EN LAS REDES MEDIAS PARA EL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN CELULAR .....	195
TABLA R- 19 DATOS DE COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL Y DENSIDAD DE LAS REDES Y NÚMERO DE CONCEPTOS NUCLEARES PROPUESTOS POR LOS ALUMNOS DEL GRUPO CONTROL PARA EL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN CELULAR.....	199



TABLA R- 20. DATOS DE COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL Y DENSIDAD DE LAS REDES Y NÚMERO DE CONCEPTOS NUCLEARES PROPUESTOS POR LOS ALUMNOS DEL GRUPO AQUAROCA PARA EL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN CELULAR. ....	200
TABLA R- 21. PRUEBA U DE MANN-WHITNEY PARA LAS VARIABLES “CONCEPTOS NUCLEARES”, “DENSIDAD DE LA RED” E “I.C.R.” .....	201
TABLA R- 22. DATOS OBTENIDOS PARA CADA ALUMNO DEL GRUPO CONTROL CON EL PROGRAMA GOLUCA 3.1. SE RECOGEN LAS VARIABLES: “COHERENCIA”, “ÍNDICE DE SIMILARIDAD CON LA RED DEL PROFESOR” E “ÍNDICE DE SIMILARIDAD CON LA RED DE LA CIENCIA” PARA EL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN CELULAR.....	205
TABLA R- 23. DATOS OBTENIDOS PARA CADA ALUMNO DEL GRUPO AQUAROCA CON EL PROGRAMA GOLUCA 3.1. SE RECOGEN LAS VARIABLES: “COHERENCIA”, “ÍNDICE DE SIMILARIDAD CON LA RED DEL PROFESOR” E “ÍNDICE DE SIMILARIDAD CON LA RED DE LA CIENCIA” PARA EL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN CELULAR.....	206
TABLA R- 24. RANGOS OBTENIDOS PARA LA APLICACIÓN DE LA PRUEBA U DE MANN-WHITNEY A LA VARIABLE “COHERENCIA” PARA EL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN CELULAR. ....	208
TABLA R- 25. PRUEBA T DE STUDENT DE MUESTRAS INDEPENDIENTES, DE LAS VARIABLES “SIMILARIDAD CON LA RED DEL PROFESOR” Y “SIMILARIDAD CON LA RED DE LA CIENCIA” PARA EL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN CELULAR.....	209
TABLA R- 26. T DE STUDENT DE MUESTRAS DEPENDIENTES, DE LAS VARIABLES “SIMILARIDAD CON LA RED DEL PROFESOR” Y “SIMILARIDAD CON LA RED DE LA CIENCIA” PARA LOS GRUPOS CONTROL Y AQUAROCA EN EL ESTUDIO DEL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN CELULAR. ....	210
TABLA R- 27. ESTADÍSTICAS DE FIABILIDAD DEL CUESTIONARIO SOBRE LA RESPIRACIÓN CELULAR. RESUMEN DEL PROCESAMIENTO DE CASOS. ALFA DE CRONBACH. ....	211
TABLA R- 28. PUNTAJE TOTAL AGRUPADO DEL CUESTIONARIO DE RESPIRACIÓN CELULAR, EN FUNCIÓN DE LA INTERVENCIÓN REALIZADA.....	211
TABLA R- 29. PRUEBA U DE MANN-WHITNEY PARA LA VARIABLE “TOTAL AGRUPADA” DEL CUESTIONARIO DE RESPIRACIÓN CELULAR.....	213
TABLA R- 30. TABLA DE CHI CUADRADO PARA LAS RESPUESTAS OFRECIDAS POR LOS DOS GRUPOS DE ALUMNOS PARA EL CONCEPTO DE FERMENTACIÓN Y ANALIZADAS CON WEBQDA .....	217
TABLA R- 31. RESPUESTAS POSITIVAS OFRECIDAS POR LOS DOS GRUPOS DE ALUMNOS PARA EL CONCEPTO DE FERMENTACIÓN.....	218

TABLA R- 32. RANGOS PRUEBA U DE MANN-WHITNEY PARA LA VARIABLE "RESPUESTAS POSITIVAS AL CONCEPTO DE FERMENTACIÓN" .....	219
TABLA R- 33. TIPOLOGÍA DE CONCEPTOS EN LAS REDES MEDIAS PARA EL CONCEPTO DE FERMENTACIÓN .....	220
TABLA R- 34 DATOS DE COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL Y DENSIDAD DE LAS REDES Y NÚMERO DE CONCEPTOS NUCLEARES PROPUESTOS POR LOS ALUMNOS DEL GRUPO CONTROL PARA EL CONCEPTO DE FERMENTACIÓN.....	224
TABLA R- 35. DATOS DE COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL Y DENSIDAD DE LAS REDES Y NÚMERO DE CONCEPTOS NUCLEARES PROPUESTOS POR LOS ALUMNOS DEL GRUPO AQUAROCA PARA EL CONCEPTO DE FERMENTACIÓN. ....	225
TABLA R- 36. PRUEBA U DE MANN-WHITNEY PARA LAS VARIABLES "CONCEPTOS NUCLEARES", "DENSIDAD DE LA RED" E "I.C.R." .....	226
TABLA R- 37. DATOS OBTENIDOS PARA CADA ALUMNO DEL GRUPO CONTROL CON EL PROGRAMA GOLUCA 3.1. SE RECOGEN LAS VARIABLES: "COHERENCIA", "ÍNDICE DE SIMILARIDAD CON LA RED DEL PROFESOR" E "ÍNDICE DE SIMILARIDAD CON LA RED DE LA CIENCIA" PARA EL CONCEPTO DE FERMENTACIÓN.....	230
TABLA R- 38. DATOS OBTENIDOS PARA CADA ALUMNO DEL GRUPO AQUAROCA CON EL PROGRAMA GOLUCA 3.1. SE RECOGEN LAS VARIABLES: "COHERENCIA", "ÍNDICE DE SIMILARIDAD CON LA RED DEL PROFESOR" E "ÍNDICE DE SIMILARIDAD CON LA RED DE LA CIENCIA" PARA EL CONCEPTO DE FERMENTACIÓN.....	231
TABLA R- 39. PRUEBA T DE STUDENT DE MUESTRAS INDEPENDIENTES, A LAS VARIABLES "COHERENCIA", "SIMILARIDAD CON LA RED DEL PROFESOR" Y "SIMILARIDAD CON LA RED DE LA CIENCIA" PARA EL CONCEPTO DE FERMENTACIÓN. ....	233
TABLA R- 40. T DE STUDENT DE MUESTRAS DEPENDIENTES, DE LAS VARIABLES "SIMILARIDAD CON LA RED DEL PROFESOR" Y "SIMILARIDAD CON LA RED DE LA CIENCIA" PARA LOS GRUPOS CONTROL Y AQUAROCA EN EL ESTUDIO DEL CONCEPTO DE LA FERMENTACIÓN. ....	235
TABLA R- 41. ESTADÍSTICAS DE FIABILIDAD DEL CUESTIONARIO SOBRE LA FERMENTACIÓN. RESUMEN DEL PROCESAMIENTO DE CASOS. ALFA DE CRONBACH. ....	236
TABLA R- 42. PUNTAJE TOTAL AGRUPADO DEL CUESTIONARIO DE FERMENTACIÓN EN FUNCIÓN DE LA INTERVENCIÓN REALIZADA .....	236

TABLA R- 43. PRUEBA U DE MANN-WHITNEY SOBRE LA VARIABLE "TOTAL AGRUPADA" DEL CUESTIONARIO DE FERMENTACIÓN. ....	238
TABLA R- 44. TABLA DE CHI CUADRADO PARA LAS RESPUESTAS OFRECIDAS POR LOS DOS GRUPOS DE ALUMNOS PARA EL CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS Y ANALIZADAS CON WEBQDA.....	242
TABLA R- 45. RESPUESTAS POSITIVAS OFRECIDAS POR LOS DOS GRUPOS DE ALUMNOS PARA EL CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS. ....	243
TABLA R- 46. RANGOS PRUEBA U DE MANN-WHITNEY PARA LA VARIABLE "RESPUESTAS POSITIVAS AL CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS" .....	244
TABLA R- 47. TIPOLOGÍA DE CONCEPTOS EN LAS REDES MEDIAS PARA EL CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS	245
TABLA R- 48 DATOS DE COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL Y DENSIDAD DE LAS REDES Y NÚMERO DE CONCEPTOS NUCLEARES PROPUESTOS POR LOS ALUMNOS DEL GRUPO CONTROL PARA EL CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS .....	248
TABLA R- 49. DATOS DE COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL Y DENSIDAD DE LAS REDES Y NÚMERO DE CONCEPTOS NUCLEARES PROPUESTOS POR LOS ALUMNOS DEL GRUPO AQUAROCA PARA EL CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS .....	249
TABLA R- 50. PRUEBA U DE MANN-WHITNEY PARA LAS VARIABLES "CONCEPTOS NUCLEARES", "DENSIDAD DE LA RED" E "I.C.R." .....	250
TABLA R- 51. DATOS OBTENIDOS PARA CADA ALUMNO DEL GRUPO CONTROL CON EL PROGRAMA GOLUCA 3.1. SE RECOGEN LAS VARIABLES: "COHERENCIA", "ÍNDICE DE SIMILARIDAD CON LA RED DEL PROFESOR" E "ÍNDICE DE SIMILARIDAD CON LA RED DE LA CIENCIA" PARA EL CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS. ....	254
TABLA R- 52. DATOS OBTENIDOS PARA CADA ALUMNO DEL GRUPO AQUAROCA CON EL PROGRAMA GOLUCA 3.1. SE RECOGEN LAS VARIABLES: "COHERENCIA", "ÍNDICE DE SIMILARIDAD CON LA RED DEL PROFESOR" E "ÍNDICE DE SIMILARIDAD CON LA RED DE LA CIENCIA" PARA EL CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS. ....	255
TABLA R- 53. PRUEBA T DE STUDENT PARA MUESTRAS INDEPENDIENTES, A LAS VARIABLES "COHERENCIA" Y "SIMILARIDAD CON LA RED DEL PROFESOR" PARA EL CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS.....	256
TABLA R- 54. RANGOS PRUEBA U DE MANN-WHITNEY PARA LA VARIABLE SIMILARIDAD DE LA CIENCIA. ....	257

TABLA R- 55. PRUEBA DE WILCOXON PARA MUESTRAS DEPENDIENTES, A LAS VARIABLES "SIMILARIDAD CON LA RED DEL PROFESOR" Y "SIMILARIDAD CON LA RED DE LA CIENCIA" PARA LOS GRUPOS CONTROL Y AQUAROCA EN EL ESTUDIO DEL CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS. ....	258
TABLA R- 56. ESTADÍSTICAS DE FIABILIDAD DEL CUESTIONARIO SOBRE LA FOTOSÍNTESIS. RESUMEN DEL PROCESAMIENTO DE CASOS. ALFA DE CRONBACH.. ....	260
TABLA R- 57. PUNTAJE TOTAL AGRUPADO DEL CUESTIONARIO DE FOTOSÍNTESIS, EN FUNCIÓN DE LA INTERVENCIÓN REALIZADA. ....	260
TABLA R- 58. PRUEBA U DE MANN-WHITNEY SOBRE LA VARIABLE "TOTAL AGRUPADA" DEL CUESTIONARIO DE FOTOSÍNTESIS .....	262
TABLA R- 59. RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA LOS CONCEPTOS ESTUDIADOS.....	263



*Educar es lo mismo  
que poner motor a una barca...  
hay que medir, pesar, equilibrar...  
... y poner todo en marcha.*

*Para eso,  
uno tiene que llevar en el alma  
un poco de marino...  
un poco de pirata...  
un poco de poeta...  
y un kilo y medio de paciencia  
concentrada.*

*Pero es consolador soñar  
mientras uno trabaja,  
que ese barco, ese niño  
irá muy lejos por el agua.  
Soñar que ese navío  
llevará nuestra carga de palabras  
hacia puertos distantes,  
hacia islas lejanas.*

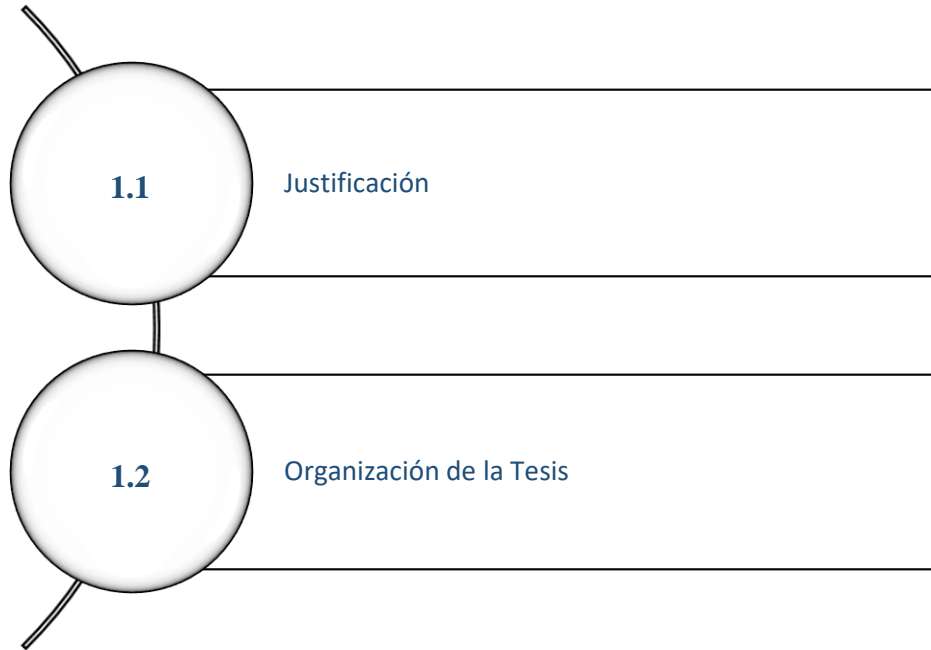
*Soñar que cuando un día  
esté durmiendo nuestra propia barca,  
en barcos nuevos seguirá  
nuestra bandera  
enarbolada.*

F. Gaínza (1982) <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Tradicionalmente este poema ha sido atribuido a Celaya, pese a que no aparece en ninguna de sus obras.

# *Capítulo 1. Introducción*



# INTRODUCCIÓN

La asignatura de Biología y Geología de 1º de bachillerato, presenta un amplísimo currículo, tanto que, a nivel de contenidos supone un compendio de todo el mundo natural, que abarca desde los grandes biomas planetarios hasta los bioelementos que forman parte de la materia viva. Dentro de este pandemónium de conceptos, los relacionados con el metabolismo celular son los más complejos a los que se enfrenta el alumnado, así como imprescindibles para posteriores cursos.

En los siguientes apartados trataré de plasmar qué motivaciones tanto personales como didácticas me llevaron a realizar esta tesis, para finalizar con un esbozo de la estructura de la misma.

## 1.1 Justificación

El metabolismo es probablemente una de las ramas de la Biología más complejas de comprender por parte de los estudiantes de ciencias, como lo demuestran numerosas investigaciones al respecto tanto a nivel preuniversitario como universitario, de las cuales se desprende que los conceptos metabólicos no solo son difíciles de entender por el alumnado sino que generan numerosas ideas erróneas, especialmente para los conceptos de fotosíntesis, respiración celular o fermentación (Angosto, 2018; Cañal, 1991; Charrier et al., 2006; Farina, 2013; Garófalo et al., 2014; Köse, 2008; Salinas, 2020; Zaforas, 1991). No obstante, su comprensión es clave para el entendimiento de los procesos nutricionales de todos los seres vivos.

En la idea de proporcionar al alumnado herramientas que le permitan adquirir aprendizajes significativos acerca de los conceptos metabólicos



(fotosíntesis, respiración celular y fermentación) se han planteado numerosas opciones didácticas desde la gamificación con juegos de mesa tradicionales (Bentley & Connaughton, 2021), el empleo de material interactivo (Uhl et al., 2021), la realización de trabajos de laboratorio (Muñoz et al., 2020; Reigosa, 2003), elaboración de dibujos (Köse, 2008; Moreno & Lopez, 2013), de modelos con diferentes materiales (Güneş, 2011) redes de discusión web (Yenilmez & Tekkaya, 2006), historia de la Ciencia (Acevedo & García, 2016), mapas conceptuales (Bergan et al., 2020), artículos científicos (de Espíndola et al., 2010) y muchos y variados cuestionarios (Marmaroti & Galanopoulou, 2006; Wilson et al., 2006).

A pesar de que cada una de ellas mejora el proceso de aprendizaje, entiendo que son medidas puntuales y no responden a un plan global e integrador del proceso, lo que en mi opinión conduce a que al final estos conceptos no sean percibidos como una realidad diaria y cotidiana y se conviertan en meras carpetas que una vez superadas se pueden archivar y olvidar.

En la búsqueda de un proyecto didáctico que permitiera alcanzar esos objetivos de globalización e integración sería pertinente seguir una secuencia de complejidad creciente iniciándose en el individuo, para pasar al nivel celular, niveles interrelacionados entre sí y, a su vez, relacionados con el nivel ecosistema (González et al., 2009). En este contexto se plantea el proyecto Acuapónico como un proyecto de proyectos, con la idea de integrar lo micro con lo macro y con una temporalización que se extiende más allá de la explicación de un tema, pues se prolonga durante todo el curso escolar.

La acuaponía, a nivel mundial, se visualiza como una alternativa de producción agropecuaria dirigida al desarrollo sostenible. Sin embargo, los estudios sobre este método mixto de cultivo son escasos y su aplicación a la enseñanza más aún, aunque algunos autores manifiestan que puede ser muy interesante para la comprensión e integración de determinados contenidos (Genello et al., 2015; Jiménez, 2013; Ramirez et al., 2008; Wardlow et al., 2002).

## **1.2 Organización de la Tesis**

La tesis doctoral está organizada en siete capítulos. Tras el resumen, en el primer capítulo se delimita y justifica el objeto de estudio, y se presenta la actualidad del trabajo de investigación.

En el segundo capítulo se establece el marco teórico y conceptual de la investigación. Este bloque se puede subdividir en tres partes; en la primera se recogen las bases pedagógicas del constructivismo y de la cognición, subcapítulos 2.1 y 2.2 respectivamente, sobre las que se asienta la tesis; en la segunda parte se documenta en el subcapítulo 2.3, el proceso de enseñanza del metabolismo desde el punto de vista de la estructuración y presentación de contenidos a nivel de aula, de libros de texto y curricular por un lado y por otro (subcapítulo 2.4), las metodologías activas empleadas hasta el momento. Finalmente, en la última parte del capítulo (subcapítulo 2.5), se presentan los pilares de los sistemas mixtos de acuicultura e hidroponía, conocidos como sistemas acuapónicos, así como las incursiones de los mismos en la enseñanza.

En el tercer capítulo se recogen las preguntas de investigación e hipótesis planteadas, basadas en la idoneidad del proyecto Aquaroca para

mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje del metabolismo celular, así como los objetivos planteados.

La metodología y el diseño de la investigación empleada lo encontramos en el cuarto capítulo. Se profundiza en el proyecto Aquaroca, así como las técnicas de análisis mixto utilizadas.

El análisis de los resultados conforma el capítulo cinco. Está dividido en cuatro subcapítulos uno por cada concepto estudiado, en los que se examinan los datos obtenidos a través del empleo de software de análisis cualitativo (WebQDA), Redes Asociativas Pathfinder y software de análisis estadístico (IBM SPSS Statistics 22).

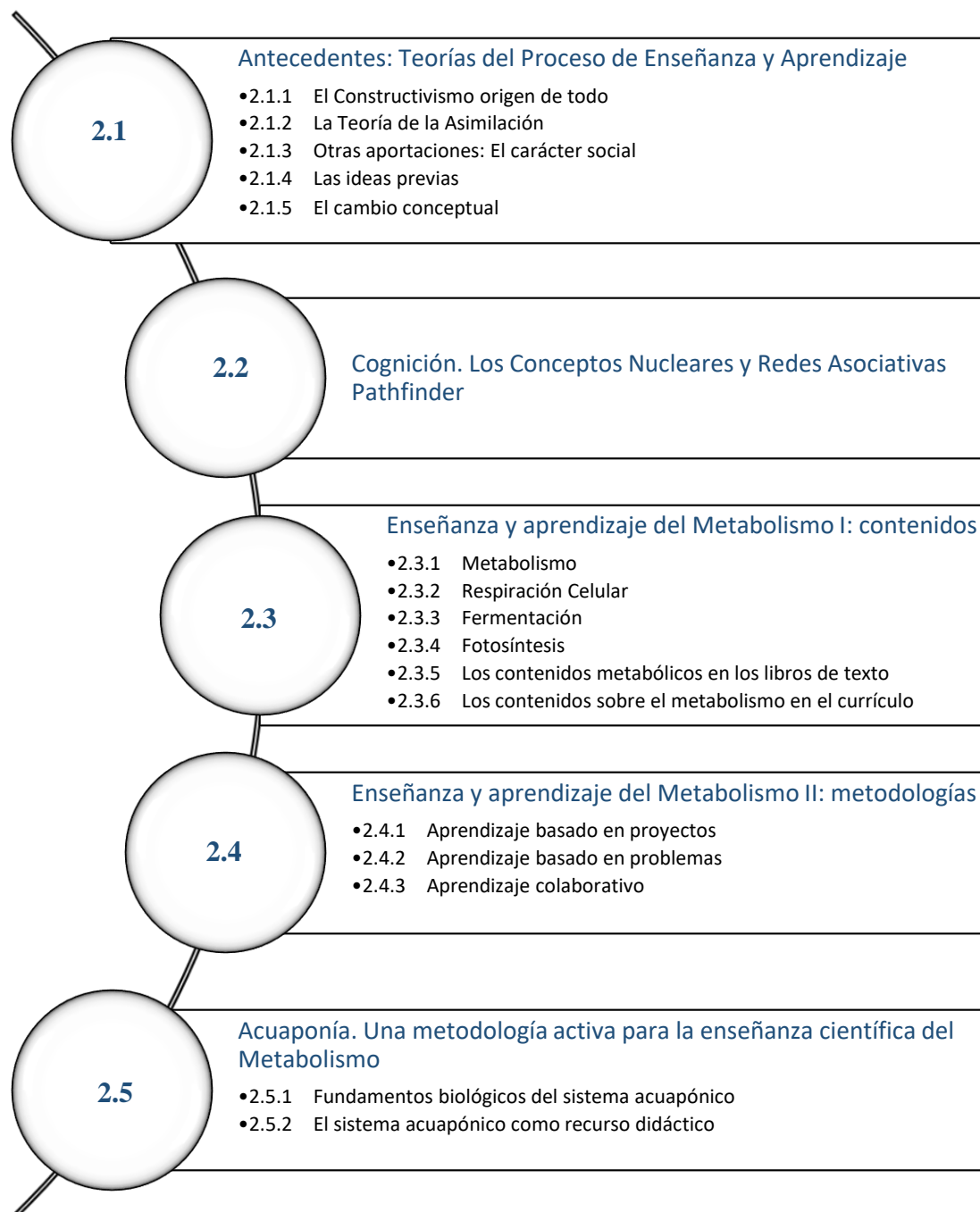
En el capítulo seis encontramos la discusión de los resultados y las conclusiones obtenidas a partir de la comprobación de las hipótesis planteadas, así como las limitaciones de la investigación y las fortalezas de la metodología halladas en este estudio. Las conclusiones ofrecen una visión de conjunto de la investigación a la vez que una interesante reflexión sobre cómo Aquaroca, ofrece aprendizajes más eficaces y significativos para la comprensión de los conceptos relacionados con el metabolismo celular que el empleo de otra metodología más tradicional.

Finalmente, en el último capítulo se recogen las referencias bibliográficas empleadas.

*“la clave de cualquier problema biológico finalmente ha de buscarse  
en la célula y los procesos bioquímicos involucrados en su  
funcionamiento, ya que cualquier organismo viviente es, o ha sido  
alguna vez, una célula”*

E. B. Wilson, (1898)

# Capítulo 2. Marco Teórico



## MARCO TEÓRICO

El formato tradicional de la enseñanza ha contemplado siempre al docente como el transmisor de un bien escaso, la información. En este contexto, especialmente las clases de Ciencias, se han guiado por un sistema academicista cuyo pilar fundamental era la lógica científica. En palabras de Pozo (1996a):

“el criterio principal –si no el único- para la elaboración de los contenidos escolares era el conocimiento disciplinar específico, de tal manera que a casi todas las edades los currículos de cada materia (por ej., los de Ciencias de la Naturaleza) respondían a una misma organización y a unos contenidos muy similares: la lógica de las disciplinas científicas” (p.110).

A mediados de los 80 Gil, (1986) escribía: “existe aún hoy, muy extendida entre el profesorado y alumnado, una concepción sobre la naturaleza de la metodología científica marcada por el inductismo, que ignora las aportaciones de la moderna epistemología” (p. 111). El papel del alumno cambió para ser protagonista de la historia -según Gil (1986) y Driver, (1988) el aprendizaje de las Ciencias supone una construcción activa de significados por parte de quien aprende- y por supuesto el del profesor que ha adquirido el papel de mediador entre el conocimiento y el alumno, en este sentido Coll y Solé, (2007) plantean que en el proceso de construcción de conocimientos “el profesor actúa de guía y mediador entre el niño y la cultura” (p. 19), también en esta línea se encuentran las ideas de Pérez et al., (1998) que señala que la calidad de la docencia depende en infinidad de ocasiones de lo que se decide no enseñar aún.

Con el advenimiento de la Sociedad de la Información se produciría una revolución más. La información ahora no está sólo disponible en el profesor, cualquier alumno puede obtener más información en Internet de la que sería capaz de ofrecer un profesor de estilo tradicional. Ahora la información puede considerarse un recurso libre y esta circunstancia no es un cambio anecdótico. “El siglo XXI se caracteriza por el fuerte crecimiento del conocimiento y de la información. El saber es incontrolable e inabarcable. Más aún, la materia prima de esta nueva sociedad es el conocimiento” (Román, 2005, p. 8).

Surge un nuevo problema, la gran avalancha de informaciones dispersas y escasamente seleccionadas a las que puede acceder el alumno, debiendo ser el docente el que ayude a construir modelos o interpretaciones que permitan integrar esas informaciones y hacerlas significativas en el marco del saber científico (Pozo, 1996a).

Ahondando en la idea que expresa Pozo, encontramos que las publicaciones electrónicas han aumentado de una manera exponencial, con lo cual el conocimiento está más cerca que nunca de todos, pero al mismo tiempo generan una gran cantidad de ruido, en el sentido de la Teoría de la Información. Una búsqueda sobre cualquier contenido puede dar como resultado innumerables páginas de la red, pero lamentablemente no existe un control de calidad de estos sitios. En un tema como el metabolismo, ya complejo de por sí, un exceso de información inadecuada y por tanto de ese “ruido” no parece lo más adecuado para su aprendizaje, ya que puede proporcionar una serie de “naciones” manifiestamente erróneas que engrosen la larga lista de preconceptos que se tienen sobre dicha materia. Aquí es donde

aparece un nuevo papel que nos toca jugar como docentes. Si antes teníamos que seleccionar entre varios libros de texto y otros materiales, ahora nuestra elección debe contemplar cientos de páginas electrónicas y recursos informáticos, además de los materiales tradicionales. Ahora, en lugar de evaluar los textos disponibles y seleccionar los mejores, debemos explorar un gran número de posibilidades y recomendar las que parezcan más adecuados.

Este trabajo, por otro lado, se encuentra impregnado de la idea de que siempre que intentamos entender o dar significado a algo lo hacemos a partir de una idea o conocimiento previo que tenemos; lo cual constituye la piedra angular de la Teoría Constructivista:

"Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría éste: el factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto y enséñese en consecuencia" (Ausubel, Novak y Hanesian, 1983, p. 1).



## **2.1 Antecedentes: Teorías del Proceso de Enseñanza y Aprendizaje**

Previamente a la irrupción en la enseñanza del constructivismo, se produce en la Psicología una serie de corrientes para describir de manera coherente y sistemática los fenómenos del aprendizaje humano.

Uno de los enfoques principales de la Psicología contemporánea del Aprendizaje, lo constituyen las teorías de corte cognitivo, las cuales conciben el aprendizaje humano como un proceso de reorganización interna del conocimiento, ocasionado por la asimilación e integración de nuevos conocimientos y experiencias (Leiva, 2005; Silva, 2014).

Este nuevo enfoque bebería de fuentes muy alejadas de la Psicología de corte clásico como “La Teoría de los autómatas”, “la Teoría de la comunicación”, “La Cibernética” o “la Teoría General de Sistemas” que sentarían las bases científicas necesarias para su alumbramiento.

Con estos mimbres surge la Ciencia Cognitiva, o al menos se asientan sus primeros cimientos teóricos, simultáneamente a la Inteligencia Artificial, en un simposio sobre Teoría de la Información celebrado en el Massachusetts Institute for Technology (MIT) en 1956. En estos momentos, muchos autores afirmaban que la inteligencia humana, al igual que cualquier otro tipo de inteligencia, funcionaba de forma similar a un computador.

Thagard (2020), define la Ciencia Cognitiva como el estudio multidisciplinar de la mente, desde los campos de la filosofía, la psicología, la inteligencia artificial, la neurociencia, la lingüística y la antropología.

Gardner en su libro *La Nueva Ciencia de la Mente* propone:

“Defino la ciencia cognitiva como un empeño contemporáneo de base empírica por responder a interrogantes epistemológicos de antigua data, en particular a los vinculados a la naturaleza del conocimiento, sus elementos componentes, sus fuentes, evolución y difusión” (Gardner, 1987, p.21).

Barbara von Eckardt siguiendo la línea de Thagard, define la Ciencia Cognitiva como campo que estudia la cognición extrayendo recursos de cierto número de disciplinas, incluyendo la psicología cognitiva, la inteligencia artificial, la lingüística, la filosofía, la neurociencia y la antropología cognitiva (Von Eckardt, 1993).

Podemos señalar que la ciencia cognitiva está formada por la convergencia de varias disciplinas como son la Neurociencia, la Inteligencia Artificial, o la Psicología Cognitiva, entre otras muchas que pretenden un acercamiento a la mente humana y a otros sistemas procesadores de información. Así por ejemplo la Psicología Cognitiva, tiene como objeto estudiar los fenómenos mentales, los mecanismos de procesamiento de información, así como la toma de decisiones.

El cognitivismo clásico pues, estaría basado en la idea de que la cognición es un proceso computacional que trabaja sobre símbolos o representaciones y lo hace de una forma secuencial, transfigurándolos en función de una serie de reglas para originar un nuevo estado mental.

Siguiendo esa idea que asemeja la mente humana con un ordenador encontramos la aportación de Román & Díez (1990), que señala a la mente como procesador de información o a modo de computador que dirige el comportamiento de la persona en detrimento de los estímulos.

Por otro lado, Johnson-Laird (1983) con su Teoría de los Modelos Mentales trata de atender a qué es lo que se computa, a cómo se llevan a cabo esos cálculos, y a cuál es la neurofisiología subyacente, lo que se traduce en tres subteorías para dar respuesta a estos problemas: una teoría general de lo que computa la mente, una teoría del programa que utiliza para llevar a cabo los cálculos y una teoría de cómo se materializa el programa dentro del sistema nervioso.

“La teoría de los modelos mentales se ha pensado para explicar los procesos superiores de la cognición y, en particular, la comprensión y la inferencia. Sugiere un inventario simple de tres partes para el contenido de la mente: hay procedimientos recursivos, representaciones proposicionales y modelos” (Johnson-Laird, 1983 citado en Rodríguez et al., 2001 , p. 244).

Fernández (1997) estima que la mente sería una máquina que emplea reglas explícitas sobre representaciones formales. En este contexto, la Psicología Cognitiva se construiría sobre tres principios: a) lo cognitivo es pensamiento y el pensamiento es procesamiento de información, b) el procesamiento de la información consiste en la computación de símbolos y c) los símbolos que se computan tienen una referencia semántica.

Para Pozo (1996a) las características psicológicas del alumno, y entre ellas el desarrollo cognitivo, son pieza fundamental para la elaboración del currículo. Estas características pueden agruparse en tres aspectos: su desarrollo afectivo y emocional, el desarrollo cognitivo o intelectual y la forma en que los alumnos aprenden.

Dentro de este marco teórico y conceptual que hizo nacer a la Psicología Cognitiva parece obligado incluir escuelas como: La Gestalt, el conductismo cognoscitivo de Tolman, o la epistemología genética de Piaget.

Los psicólogos de la Gestalt, basan su teoría en dos principios fundamentales: el de organización y el de introspección. Conciben el aprendizaje como un proceso de reorganización perceptiva, abocado a la captación (insight) de nuevos significados que permitan lograr la meta u objetivo final. Quizás como plantean Craig et al. (1979) las aportaciones más importantes para la educación de este enfoque sean: a) la presentación de los elementos perceptivos y estructurales de los problemas, b) la organización del conocimiento, c) el aprendizaje con entendimiento, d) la retroalimentación o conocimiento de los resultados y e) las metas que se proponga quien aprenda.

Tolman (1959) partiendo del conductismo cognitivo clásico introduce como novedad, un carácter “intencional, cognitivo y molar a la conducta”. “La conducta es una totalidad que integra, junto con el soporte fisiológico, aspectos cognitivos y propositivos, es decir tiene siempre un carácter intencional” (Diccionario de las ciencias de la educación 1983 -concepto: molar- p. 984).

Las ideas de Tolman acerca del aprendizaje como reestructuración del conocimiento serían tomadas posteriormente por Bruner y Ausubel para elaborar sus modelos cognitivos de aprendizaje. Por otro lado, las implicaciones de sus tesis podrían resumirse en:

- 1) Hay que poner al corriente al alumno sobre la trascendencia de las diversas acciones, pero la recompensa no es esencial.

2) Los alumnos aprenden tanto por lo que se les dice o muestra como por lo que hacen.

3) El grado de aprendizaje de los alumnos no quedará evidente hasta que no se vean motivados a aprender, por lo que no es posible evaluar si no hay incentivos (Craig, Mehrens y Clarizio 1979).

La obra de Piaget a la par que clave para la psicología cognitiva, es muy extensa: estudios sobre la inteligencia, la percepción y sobre los problemas de la epistemología genética. Para la educación la aportación clave es sin duda su teoría del desarrollo cognitivo, según la cual el proceso de aprendizaje atraviesa fases cada una de ellas caracterizada por la existencia de estructuras cognitivas específicas resultantes de la maduración neurofisiológica y de la experiencia ambiental, cualitativamente distintas que, por tanto, ordenan la realidad de diferente forma.

Las características perceptivas del alumno, la organización de los conocimientos, el aprendizaje con comprensión, la retroalimentación cognoscitiva, la fijación cognoscitiva o el pensamiento divergente, -ideas de Piaget- han sido los pilares sobre los que se han construido los modelos cognitivos de aprendizaje.

Dentro de los modelos cognitivos caben destacar por su repercusión, el conceptualismo instrumental de Bruner y el aprendizaje significativo de Ausubel.

Bruner (2001) señala la necesidad de entender el proceso educativo como una totalidad coherente con los procesos psicológicos de aprendizaje del

niño y no la mera acumulación de asignaturas. Subraya la necesidad de conocer el funcionamiento mental del niño al tratar de enseñarle conceptos. Es decir, para Bruner (2001), el proceso educativo es un fenómeno que se produce en sintonía con los procesos psicológicos del aprendizaje humano, el cual no es un hecho fortuito, sino que es el propio sujeto el que lo desencadena al adquirir la información, transformarla y evaluarla.

### 2.1.1 El Constructivismo origen de todo

Una de las cuestiones didácticas que más preocupan a los docentes es cómo seleccionar, estructurar y secuenciar los contenidos de enseñanza de la forma más eficaz para asegurar el aprendizaje de los alumnos.

Tradicionalmente se presentan dos alternativas posibles para organizar cualquier secuencia de enseñanza-aprendizaje: a partir del análisis interno del contenido a enseñar (Ausubel, 1983), o bien, a partir del análisis de las tareas que se pretende que el alumno sepa realizar al final del proceso (Gagné, 1995). Es decir, mientras que Ausubel propone una secuencia de aprendizaje descendente (que empieza por los conceptos más generales y camina hacia los más específicos y detallados), Gagnè, por el contrario, mantiene que debe ser ascendente.

Una tercera teoría que trata de casar las anteriores es la teoría de la elaboración (Reigeluth & Stein, 1983), y que aboga por un proceso de enseñanza cíclico en espiral en el que el “descenso” debe alternarse con frecuentes “subidas”, es pues un proceso de reconstrucción del conocimiento. Sin embargo, no hay que olvidar que ésta bebe principalmente de la primera. Efectivamente la Teoría de la Elaboración resulta de la integración de

diferentes teorías, modelos y aportaciones y que se apoya tanto en la Psicología Cognitiva como en la Psicología del Procesamiento de la Información, pero hoy por hoy no se duda de que la influencia y aportación más importante la recibe, precisamente, de la Teoría del Aprendizaje Significativo (Carmen, 1990; Rodríguez & Marrero, 2003; Román & Díez, 1990).

El estudio del modelo cognitivo de Ausubel constituye en nuestro caso la base teórica que junto a la concepción constructivista del aprendizaje y la enseñanza – “marco útil para el análisis, la reflexión y la actuación” Coll, 1990 y Coll & Solé, 1993, p. 8- nos permitan el estudio del metabolismo.

Es muy importante para Ausubel el conocer las ideas relevantes que ya posee el sujeto, como paso inicial para la adquisición de nuevos conceptos, y que se produce mediante la interacción entre la nueva información y las ideas relevantes ya existentes en la estructura cognitiva del sujeto que aprende. En este sentido hay que entender por “estructura cognitiva “, al conjunto de conceptos e ideas que un individuo posee en un determinado campo del conocimiento, así como su organización.

Como escribe el propio Ausubel:

"El resultado de la interacción que tiene lugar entre el nuevo material que se va a aprender y la estructura cognoscitiva existente constituye una asimilación de significados nuevos y antiguos para formar una estructura cognoscitiva más altamente diferenciada" (Ausubel, Novak y Hanesian, 1978, p.70-71).

El constructivismo no es pues una mera opción psicopedagógica, supone una opción cultural y de redistribución del conocimiento en el marco de los fines que la educación debe cumplir en las sociedades modernas. En este sentido Rosas y Sebastián (2008) señalan que es un movimiento educativo, una forma de concebir el proceso de enseñanza-aprendizaje que comparte unas tendencias generales y que luego se diversifica.

Para "*averiguar lo que el alumno ya sabe*", que planteaba Ausubel, existen diversos planteamientos, los cuales motivan implicaciones algo distintas con respecto a la adopción de opciones curriculares determinadas. Pozo (1996a) sugiere tres enfoques posibles:

La teoría piagetiana de las operaciones formales según la cual, la capacidad de aprendizaje científico de los alumnos depende de su nivel de desarrollo cognitivo general, de forma que la enseñanza de la ciencia debería estar dirigida a promover el desarrollo de capacidades intelectuales generales.

El enfoque de los conocimientos previos o concepciones alternativas de los alumnos como elemento fundamental a considerar en la enseñanza de la ciencia.

Por último, las teorías implícitas, que propone como punto intermedio entre los enfoques anteriores y que según él solventa las carencias de ambos.

### 2.1.2 La Teoría de la Asimilación

Independientemente del enfoque, interesa en este momento destacar un condicionante muy importante del funcionamiento del sistema cognitivo humano, que es su propio conjunto de conocimientos previos, su estructura



epistemológica. La teoría de la asimilación de Ausubel, en este sentido, sostiene que la interacción entre los nuevos conceptos y los ya existentes implica siempre un proceso de transformación y que el resultado final supone una modificación tanto de las nuevas ideas aprendidas, como de los conocimientos preexistentes.

David Ausubel propone el término “Aprendizaje significativo” para designar el proceso a través del cual la información nueva se relaciona con un aspecto relevante de la estructura del conocimiento del individuo. A la estructura de conocimiento previo que recibe los nuevos conocimientos, Ausubel da el nombre de “concepto integrador”. El aprendizaje significativo se produce por medio de un proceso llamado Asimilación. En este proceso, tanto la estructura que recibe el nuevo conocimiento, como este nuevo conocimiento en sí, resultan alterados, dando origen a una nueva estructura de conocimiento. Así, la organización del contenido programático permite aumentar la probabilidad de que se produzca un aprendizaje significativo. Para ello, se debe comenzar por conceptos básicos que permitan integrar los conceptos que vendrán en forma posterior.

Durante el curso del aprendizaje tienen lugar dos procesos relacionados: la diferenciación progresiva y la reconciliación integradora. El proceso de diferenciación progresiva produce una estructura cognoscitiva organizada jerárquicamente en la dirección arriba – abajo, como ya hemos visto. El proceso de reconciliación integradora se refiere a que, en el curso del aprendizaje significativo las modificaciones producidas en la estructura cognoscitiva

permiten el establecimiento de nuevas relaciones entre conceptos, evitando la excesiva compartimentación.

Ausubel sostiene que el aprendizaje significativo se produce al relacionar las nuevas ideas con las ya existentes en la estructura cognoscitiva del sujeto. Este proceso de asimilación que explica el aprendizaje explica también el olvido, al considerar que éste se produce en el momento en que las nuevas ideas o conceptos no pueden ser disociados de las ideas o conceptos que les han servido de anclaje, proceso que se denomina asimilación obliterativa (Paniagua & Meneses , 2006).

### 2.1.3 Otras aportaciones: El carácter social

Coll et al. (1993) resumen la concepción constructivista en el aula de la siguiente forma:

Los alumnos aprenden y se desarrollan en la medida en que pueden construir significados en torno a los contenidos que configuran el currículum. Esa construcción incluye la aportación activa y global del alumno, su disponibilidad y conocimientos previos en el marco de una situación interactiva, en el que el profesor actúa de guía y mediador entre el niño y la cultura.

La idea de interactividad con “la sociedad y la cultura” que envuelven al alumno está presente en el trabajo de dos autores, Vigotsky y Bruner. El primero consideraba que el medio social es crucial para el aprendizaje, pensaba que éste, era producido por la integración de los factores social y personal. El fenómeno de la actividad social ayudaría a explicar los cambios en la

conciencia, fundamentando una teoría psicológica que unifica el comportamiento y la mente.

En este trabajo, la interacción social como forma de conocimiento alternativo está muy presente y se hace imposible entender las concepciones arraigadas en la mente del alumnado sin echar un vistazo a la cultura popular en la que han crecido. En palabras de Bruner (citado por Coll et al. 1993, p.6): “decir que una teoría del desarrollo es independiente de la cultura no es una información incorrecta, sino absurda”.

Pero la aportación más importante al proceso de enseñanza-aprendizaje que lega Vigotsky, (1978) es sin duda el concepto de Zona de Desarrollo Próximo, que definió como: “la distancia entre el nivel real de desarrollo - determinado por la solución independiente de problemas- y el nivel de desarrollo posible, precisado mediante la solución de problemas con la dirección de un adulto o colaboración de otros compañeros más diestros” (p. 86). Es en esta teoría donde se sustentan los métodos de aprendizaje activo, ya que favorecen el intercambio social de información, entre los estudiantes, a través de la construcción colaborativa del conocimiento (Jones, 2007).

Que el ambiente social sea una de las circunstancias que afecta la forma de procesamiento cognitivo humano se puede ver también reflejado en los trabajos de Margolis (1993) que nos indican cómo muchas veces de manera inconsciente, los científicos, adquieren una serie de hábitos mentales arraigados en la manera de cómo se actúa ante el mundo.

También Piaget (1970) revisando su obra encontró ciertas influencias ambientales: sugirió que en los casos en que la situación experimental no

corresponda a las aptitudes o intereses del sujeto, puede ocurrir que éste utilice un razonamiento característico del estadio anterior. Pero si el sujeto se enfrenta a tareas que están dentro de su especialidad o dominio particular, entonces su pensamiento expresará su nivel operacional formal (tomado de Carretero & León, 1999).

#### 2.1.4 Las ideas previas

Actualmente, la existencia de ideas previas en el alumnado es un hecho constatado, e independiente del nivel de enseñanza, el área de Ciencia al que se vincule, lo brillante que resulte el alumno, su procedencia, o la enseñanza formal recibida sobre el tema (Gómez & Insausti, 2005). En palabras de Carretero & León (1999): “con mucha frecuencia, el escolar aplicado que responde correctamente a las preguntas del examen, sigue manteniendo concepciones intuitivas que están alejadas en mayor o menor grado de la explicación científica del hecho de que se trate” (p. 467).

La concepción constructivista supone que siempre que intentamos entender o dar significado a algo lo hacemos a partir de una idea o conocimiento previo que tenemos. Se construyen significados de una forma activa, relacionando lo nuevo con las ideas que se poseen. Para Coll, (citado por Mahncke, 2010, p.53) cuando el estudiante se enfrenta a un nuevo contenido a aprender, lo hace siempre armado con una serie de conceptos, concepciones, representaciones y conocimientos, adquiridos en el transcurso de sus experiencias previas, que utiliza como instrumento de lectura e interpretación; y que determinan en buena parte qué informaciones seleccionará, cómo las organizará y qué tipos de relaciones establecerá entre

ellas. Coincidimos con la reflexión que propone Miras (1993) para estas palabras de Coll, en el sentido de que, gracias a lo que el alumno ya sabe, puede hacer una primera lectura del nuevo contenido, atribuirle un primer nivel de significado y sentido e iniciar su proceso de aprendizaje.

Parece obvio, por otro lado, que en la medida que el alumno va superando los diferentes niveles educativos, las ideas previas van a ir desapareciendo, consecuencia del proceso instructivo, o como plantea Fernández (2002) debido a que se va apoderando de cierta lógica científica.

No obstante, pese a que muchas ideas desaparecen con la instrucción, no lo hacen todas. En este sentido, Driver et al. (1992) afirman que las exposiciones del profesor raramente son capaces de modificar por sí mismas las creencias de los estudiantes. De hecho, son muy numerosos los trabajos que concluyen que los profesores presentan a veces las mismas concepciones alternativas que sus alumnos (Banet, 2000).

Tener ideas previas es un rasgo que define el funcionamiento cognitivo del ser humano. En el aprendizaje de los conceptos, los alumnos tienen sus propias concepciones sobre lo que se les va a enseñar. En muchos casos estas concepciones no se alteran después de la instrucción, ya que como ocurre en la vida cotidiana son resistentes al cambio. El que aprende tiene unos "esquemas mentales previos", que son los que utiliza para interpretar la nueva información que está recibiendo, los cuales interfieren de manera decisiva en la adquisición de conceptos científicos. Es razonable que estas ideas sean científicamente inadecuadas, porque lo contrario haría innecesario el gran esfuerzo de abstracción y lucha contra el sentido común que implica la construcción de la

ciencia. Podemos llegar a la conclusión de que el proceso de aprendizaje debe consistir en cambiar esas ideas previas por los conceptos manejados por los científicos (Fernández, 2002).

Parece lógico pensar, que estas ideas previas habrán de ser estudiadas, para que puedan ser combatidas con mayor diligencia y la primera pregunta que surge es acerca de su procedencia. Para Pozo (1996b) hay tres vías u orígenes fundamentales mediante los que se adquieren estas ideas: a) origen sensorial (concepciones espontáneas), b) origen cultural (concepciones sociales) y c) origen escolar (concepciones analógicas).

Carrascosa (2005) habla de “influencias” (influencia de las experiencias físicas cotidianas, influencia de la comunicación verbal, visual y escrita). Pero en definitiva, tanto Pozo (1996b) como Carrascosa (2005) coinciden con Albaladejo & Caamaño (1992) para señalar como causas de las ideas alternativas: las experiencias y observaciones de la vida cotidiana, el profesorado, los libros y otros materiales escolares, la interferencia del lenguaje cotidiano y el científico, los medios de comunicación, y la cultura propia de cada civilización.

Una vez aclarado el origen de las ideas previas, el siguiente interrogante que se nos plantea, es cómo podemos detectarlas. Como sugiere Carrascosa (2005), entre las múltiples técnicas que se pueden emplear se encuentran las entrevistas más o menos abiertas (empleadas en este trabajo para sondear el estado de la cuestión), cuestionarios diseñados para que aquellos que sostienen una cierta concepción alternativa, den respuestas coherentes con la misma (en este estudio fueron elaborados a partir de las ideas sondeadas previamente con

la entrevista) y mapas conceptuales (elaborados previamente por el autor para centrar el estudio de los conceptos implicados).

Probablemente una cuestión más que podríamos plantearnos es su utilidad. De hecho, parte de su tenaz resistencia al cambio se debe a que las teorías implícitas suelen generar predicciones con bastante éxito en la vida cotidiana, suelen describir muy bien acontecimientos cotidianos ante los que muchas veces los modelos científicos formalizados son menos predictivos. Como señala Claxton (1984): “las teorías personales deben ser útiles; las teorías científicas deben ser ciertas” (citado por Pozo et al., 1992, p.11) .

Muchas de estas ideas espontáneas tienen características comunes (Carretero & León, 1999; Gil, 1986; Pozo, 1996b; Pozo et al., 1992), algunas de las cuales relacionamos a continuación (tomado de Bañas, Mellado y Ruiz, 2003):

- Son construcciones personales que elabora el propio alumno, a veces desde edades muy tempranas.
- Suelen ser diferentes a las ideas reconocidas científicamente.
- Algunas ideas tienen coherencia interna para los alumnos, en cambio en otras existen incoherencias y contradicciones.
- Algunas ideas forman para los alumnos verdaderas teorías que les sirven para predecir y controlar los acontecimientos.
- A veces, tienen un cierto paralelismo o isomorfismo con ideas científicas vigentes en algunas etapas anteriores de la historia del conocimiento científico.

- Suelen ser implícitas.
- Son persistentes y muy resistentes al cambio, en mayor grado cuanto mayor sea su base experimental.
- Pueden ser espontáneas, es decir surgen de un modo natural en la mente de los estudiantes, o debidas a la instrucción, el lenguaje o al ambiente social y cultural.
- Tienen cierto grado de universalidad, aunque influido por los diferentes contextos culturales.

A grandes rasgos, podríamos indicar que componen un conjunto de conocimientos construidos por los estudiantes, diferentes de los científicos, que persisten en el tiempo, representan su modo particular de interpretar el entorno y les permiten actuar en distintas circunstancias.

#### 2.1.5 El cambio conceptual

Para la Teoría Constructivista es un hecho conocido y asumido que el profesor debe conocer las ideas iniciales de las que parte el alumnado con el fin de diseñar un sistema de instrucción para que esas ideas previas evolucionen hacia concepciones científicamente aceptables (Bañas et al., 2003; Driver, 1988). El proceso de cambio de ideas espontáneas hacia otras científicamente aceptadas es lo que se ha denominado el *cambio conceptual*.

La propuesta de considerar el aprendizaje como un cambio conceptual (Posner et al., 1982) se fundamenta además en un cierto paralelismo entre el desarrollo conceptual de un individuo y la evolución histórica de los conocimientos científicos.



Lograr el “cambio conceptual” requiere, sobre todo, la facilitación de “conflictos cognitivos” a lo largo del proceso de instrucción. Por ello, se debe averiguar en primer lugar si el alumno ha llegado a la toma de conciencia adecuada y, en caso contrario, qué ayuda requiere para mejorar su *capacidad de reflexión* en dos importantes momentos. En primer lugar, se produciría un conflicto “factual” entre las ideas previas y los datos observables a partir de un fenómeno físico o social y, en segundo término, al producirse con posterioridad un conflicto “conceptual” entre los conceptos o teorías previas que supuestamente explicaban aquellos fenómenos y los conceptos y teorías alternativas que pretendemos que aprendan.

Para Pérez et al. (1998), se consigue provocar un conflicto cognitivo en el momento en el que alumno comprueba que su teoría previa lleva a predicciones que no se cumplen. Ahora bien, la condición más importante para que este conflicto genere un auténtico cambio conceptual es que, al mismo tiempo, el alumno tome conciencia de sus anteriores ideas y reflexione sobre los fenómenos en que están implicados cada una de ellas. Es necesario, además, que las nuevas ideas se muestren más eficaces que las anteriores para resolver tanto los problemas que ya eran capaces de resolver, como otros nuevos, incapaces de ser solucionados con las ideas previas de los alumnos.

A partir de las ideas de Toulmin (1972) sobre la filosofía de la ciencia, Posner et al. (1982) identifican varias condiciones necesarias para promover el cambio conceptual de los alumnos:

- Es preciso, que se produzca insatisfacción con los conceptos existentes.

- Ha de existir una concepción mínimamente inteligible que debe llegar a ser plausible, aunque inicialmente contradiga las ideas previas del alumno.
- Ha de ser potencialmente fructífera, dando explicación a las anomalías encontradas y abriendo nuevas áreas de investigación.  
(tomado de Gil, 1986).

En el caso de que la idea alternativa y la nueva no sean irreconciliables, Hewson (1989) propone ampliar el modelo de cambio conceptual a dos estrategias más: el intercambio y la integración, es decir, la ampliación y la diferenciación de las ideas previas, conectando ambas o incluyendo la primera en la segunda (Citado por Pérez et al., 1998).

Driver (1988) señala una secuencia de enseñanza orientada al cambio conceptual. Ésta comienza dando al alumno oportunidades para que ponga de manifiesto sus ideas y después se introducen hechos discrepantes para así por último poder reestructurar esas ideas. Hewson (1993) considera que el cambio conceptual de las ideas es bastante más complejo y hay que considerar aspectos como la orientación de los estudiantes, el clima del aula, el papel de los alumnos y los profesores en el aula, etc.

Teniendo en cuenta que los esquemas alternativos están asociados con una metodología –metodología de la superficialidad Gil y Carrascosa (1985)- caracterizada por la certidumbre, por la ausencia de dudas y la no consideración de soluciones alternativas, hacen pensar a Gil y Carrascosa (Carrascosa et al., 2004; Gil & Carrascosa, 1985; Gil, 1986) que el cambio conceptual no es posible sin un cambio metodológico, y plantean al mismo tiempo que para que

la estrategia de enseñanza sea válida será necesario un cambio de actitudes, en el que el eje central sea la resolución de problemas que interesen al alumno.

Gil (2002) se refiere al aprendizaje como: “tratamiento de situaciones problemáticas abiertas que los alumnos puedan considerar de interés” (Citado en Carrascosa et al., 2004).

## **2.2 Cognición. Los Conceptos Nucleares y Redes Asociativas**

### **Pathfinder**

La cognición se define como: “el conjunto de procesos que permiten el procesamiento de la información y el desarrollo del conocimiento” (OCDE, 2010). Consiste en procesos tales como el aprendizaje, el razonamiento, la atención, la memoria, la resolución de problemas, la toma de decisiones, los sentimientos o las funciones ejecutivas. Las personas tienen la capacidad de conocer con todos los procesos mencionados.

Es por ello, que uno de los principales frentes de la investigación de la cognición y en particular del aprendizaje, sea el estudio de como los seres humanos organizan y modulan la información en sus estructuras encefálicas, así como las relaciones que se puedan establecer entre los contenidos aprendidos y por lo tanto procesados en dichas estructuras cognitivas y los procesos neurofisiológicos que se activan para con éstos. Una disciplina neurocientífica de reciente aparición, que tiene entre sus principales objetivos el estudio de dichos procesos neurocognitivos es la *Neurocognición o Neuropsicología*, definida por Ardila et al. (2015) como: “Disciplina clínica y experimental que estudia las relaciones cerebro-conducta/cognición”, que, junto principalmente a la Neurología, Psicología y las Neurociencias, son las encargadas de estudiar el funcionamiento del cerebro. Esto permite a profesionales entender cómo funcionan las diferentes áreas y sistemas, que existen dentro del cerebro de una persona.

De lo cual se desprende que el objetivo fundamental del proceso de enseñanza y aprendizaje sea reorganizar la estructura cognitiva del alumno,

para que su pensamiento sea acorde con el pensamiento científico actual y le permita al mismo tiempo transformarse en un pensador autónomo, de tal forma que sea capaz de elaborar, llevar a cabo y comunicar sus propias ideas.

En el 2002 Casas y Luengo establecen la Teoría de los Conceptos Nucleares (TCN) (Casas, 2002; Casas & Luengo, 2004), que trata de ser una vía de aproximación al conocimiento del estado y evolución de la estructura neurocognitiva de los alumnos y que ha servido de marco teórico para muchos trabajos de investigación fundamentalmente en el campo de la didáctica de las matemáticas (Casas et al., 2011; Torres et al., 2012; Bizarro et al., 2015; Arias-Masa et al., 2019; Ramos et al., 2019). Los autores definen la teoría como una “propuesta de integración” (Luengo, 2013) dentro del marco teórico general de la Ciencia Cognitiva, ya que se fundamenta en las teorías de Piaget (1978), Ausubel et al. (1983) y Shavelson (1972) entre otros, con aportaciones de otras disciplinas y de los resultados de la investigación directa. Dentro de este gran marco teórico, definen la estructura neurocognitiva como un constructo hipotético que se refiere a la organización de las relaciones entre los conceptos en la memoria semántica o memoria a largo plazo (Shavelson, 1972).

Esta propuesta de integración presenta algunas diferencias con la Teoría de la Asimilación de Ausubel y Novak (1983). En primer lugar y frente a la organización jerárquica del conocimiento que postulaban dichos autores, Casas y Luengo proponen una organización geográfica del mismo en la que son necesarios establecer unos “hitos” o conceptos nucleares alrededor de los cuales se establecen unas “rutas” o relaciones entre conceptos y finalmente la

adquisición de una visión de conjunto o establecimiento de las relaciones entre las diferentes rutas o procedimientos.

Casas & Luengo (2004), señalan que, en el proceso de adquisición del conocimiento, los conceptos no se aprenden de forma aislada, sino que se van asociando a otros en forma de estructura y estas a su vez originan redes.

Frente a la idea de Ausubel de “concepto inclusor” como ideas de nivel superior que sirven como anclaje para el resto y que son la base de la estructura jerarquizada que proponen, Casas & Luengo (2004) sugieren el de “concepto nuclear”, en torno a los cuales se organizan las redes neurocognitivas de los estudiantes y que, aunque sirven como anclaje al resto de conceptos, no son ni los más importantes ni de mayor o menor nivel. Los estudios llevados a cabo por varios autores mostraron que los conceptos más destacados de la estructura neurocognitiva, no son los más significativos por su grado de generalidad o abstracción, sino aquellos que son más significativos y relevantes para el alumno, como pueden ser los ejemplos del profesor (Bizarro et al., 2015). También Contreras et al. (2016) señalan que los “conceptos nucleares” son los más significativos para el alumno, lo que implica que no tienen que ser necesariamente los más generales o los más abstractos.

Otra de las consecuencias implícitas de la Teoría de la Asimilación era el aumento de complejidad de las redes neurocognitivas a medida que se avanzaba en el proceso de aprendizaje, paradójicamente Casas & Luengo (2004) observaron que los alumnos cada vez van agrupando su aprendizaje en torno a menos conceptos, pero más enlazados. Es decir, la estructura cognitiva conforme avanza el proceso de aprendizaje no se hace más compleja, sino

mucho más simple. Es lo que denominan senderos de mínimo coste, y postulan que, pese a que en la estructura cognitiva del alumno aparecen cada vez más elementos y más relacionados entre ellos, para la resolución de una situación determinada, el alumno no recurre al global de todos los conceptos y relaciones adquiridas, sino a relaciones más simples pero que resultan más significativas, esto es, “senderos” que tienen mayor probabilidad de éxito con el menor coste. De esta manera, las redes que producen van ganando en coherencia, a medida que ellos van madurando con la edad.

Pero, ¿cómo podemos hacer tangible esa estructura cognitiva del alumnado? Para Casas & Luengo (2004), aunque se han empleado técnicas muy útiles para abordar el estudio de los procesos mentales como cuestionarios, protocolos de pensamiento en voz alta, entrevistas, o mapas conceptuales entre otras muchas, señalan que el problema que presentan, se debe fundamentalmente a la dificultad que entraña su aplicación, pero también a la elevada complejidad que en ocasiones supone para el alumno y por último a lo que ellos denominan inferencia excesiva por parte del investigador que estas técnicas generan.

Así pues, la representación de la estructura neurocognitiva, se ha abordado fundamentalmente, mediante dos tipos de métodos. Unos en los que los resultados obtenidos se dejan en forma de datos numéricos y no se emplea ninguna representación gráfica, y por tanto, pueden ser analizados y comparados con otros, como pueden ser los Tests de Relaciones Semánticas o la técnica de Analogías. Los otros, sin embargo, utilizan representaciones gráficas obtenidas a partir de los datos numéricos como es el caso de los Mapas

Conceptuales o las Redes Asociativas Pathfinder, siendo estas últimas las que emplea Casas en su Tesis Doctoral (Casas, 2002).

Para ambos autores (Casas & Luengo, 2004), el emplear Redes Pathfinder que permitan conocer la estructura neurocognitiva del alumno, puede resultar una ayuda sustancial para poder rediseñar los procesos de enseñanza aprendizaje, ya que conocer lo que el alumno previamente sabe, es la base para todo el desarrollo posterior de su instrucción como indica la Teoría Constructivista.

Hoy sabemos que la información que llega a nuestro encéfalo es almacenada, principalmente, de una forma organizada en los diferentes lóbulos cerebrales. Así mismo, los conceptos que insertamos en dicha estructura encefálica están relacionados entre sí por su significación semántica, lo que implica que cuanto mayor sea esta relación, mayor tiempo permanecerá en nuestra memoria. Estas relaciones se pueden representar por medio de estructuras compuestas por nodos, que serían los conceptos o grupos de conceptos, pero también por enlaces, que son los elementos que los relacionan.

Teniendo en cuenta las ideas de Ausubel, Novak y Hanesian (1978) el aprendizaje consistiría en edificar nuevas estructuras de conocimiento que relacionasen nodos existentes con nodos nuevos. Ausubel, planteó -como hemos detallado en párrafos anteriores- que el aprendizaje del alumno depende de la estructura cognitiva previa que el alumno posee y que se relaciona con la nueva información que recibe. Por tanto, el aprendizaje significativo se produciría cuando se establece un enlace entre un concepto relevante, el cual se encuentra ya presente en la estructura cognitiva del alumno, con la



información nueva adquirida. Es decir, estos conceptos preexistentes serían los puntos de “anclaje” para que el nuevo conocimiento fuera aprendido de un modo significativo.

Las Redes Asociativas Pathfinder son representaciones gráficas en las que los conceptos aparecen como nodos unidos por segmentos que indican las relaciones establecidas entre ellos. Estos segmentos tendrán una mayor o menor longitud dependiendo del peso de su proximidad semántica.

Los trabajos realizados hasta el momento con redes pathfinder han estado relacionados con el campo de las matemáticas fundamentalmente (Catarreira et al., 2017; Ramos et al., 2019; Soto-Ardila et al., 2017), algunos con diferentes ramas de ingenierías (Arias-Masa et al., 2019; Hidalgo et al., 2019), aunque también se ha trabajado con redes pathfinder para caracterizar las diferencias en la organización del conocimiento reflejadas en el contenido en línea generado por consumidores y expertos para la vacuna del papiloma humano, como vía para mejorar la comunicación y conocimiento de la utilidad de la misma (Amith et al., 2020).

En esta Tesis Doctoral, para obtener las Redes se parte de un conjunto de conceptos del campo de conocimiento de la Bioquímica, en este trabajo se seleccionaron específicamente conceptos relacionados con el Metabolismo que se imparte en 1º de Bachillerato de Ciencias, teniendo el alumno que establecer cuál es la proximidad que cree que existe entre cada par de conceptos.

Una vez obtenidos los datos se construye una matriz triangular que será procesada mediante el programa informático MICROGOLUCA (Godinho, Luengo & Casas, 2007; Casas et al., 2011) que calcula una matriz de

correlaciones que representa los “pesos” de los enlaces entre conceptos. A partir de esta matriz, se obtiene mediante el algoritmo de Kamada & Kawai (1989) basado en el método de fuerzas, una representación gráfica de la que finalmente se obtiene la red resultante usando el algoritmo Spring Embedding. De esta forma y partiendo de datos puramente empíricos, se pueden elaborar de forma totalmente automática, representaciones en forma de red de la estructura cognitiva de un alumno (Carvalho, 2011).

### **2.3 Enseñanza y aprendizaje del Metabolismo I: contenidos**

Dentro del estudio de la Biología, los conceptos relacionados con el metabolismo celular (fotosíntesis, respiración celular y fermentación), son fundamentales ya que permiten relacionar la estructura, organización y función de los seres vivos, a nivel microscópico y macroscópico, así como vincular los flujos de materia y energía que sustentan la vida.

Sin embargo, en la práctica, es uno de los contenidos temáticos más difíciles de abordar en el aula. La condición microscópica o abstracta de la mayor parte de los procesos metabólicos, obliga al docente a la utilización de modelos que permitan acercar esos conceptos al mundo del discente, pero que le conduce en más ocasiones de las recomendables a una enseñanza unidireccional, centrada en el propio docente, expositiva y memorística. Los estudiantes generalmente terminan enfocándose en memorizar rutas metabólicas individuales y sus subcomponentes (p. ej., enzimas, sustratos y productos) en lugar de desarrollar una visión global de las mismas, su regulación, así como la interacción que se produce entre ellas, pero sobre todo la aplicación de estos conceptos en la vida real (Long et al., 2021).

No obstante, el empleo de modelos bioquímicos que no se integren dentro de un marco fisiológico adecuado suponen para Garófalo (2010), que el alumno genere aprendizajes memorísticos y aislados, es decir, la falta de estructuras sólidas van a impedir una construcción significativa de los aprendizajes. Vullo (2014) en esta misma línea, señala que tanto la separación que se da entre los fenómenos químicos y biológicos, como el uso de libros de texto que contienen información poco integrada generan un aprendizaje del

metabolismo muy compartimentalizado que impide la asociación entre conceptos.

Por otro lado, la presencia de preconceptos produce en muchas ocasiones que las representaciones de los estudiantes “sean diferentes a los conceptos que se les quiere enseñar” (Gagliardi, 1985).

Martínez et al. (2014), afirman que gran número de alumnos de Bachillerato mantienen una serie de concepciones alternativas y dificultades conceptuales sobre los procesos biológicos, no reconociendo el tipo de metabolismo que presentan los seres vivos, entendiendo la respiración celular como un simple intercambio de gases (Charrier et al., 2006; Zaforas, 1991), o considerando que la fotosíntesis es una forma diferente de respiración de las plantas (Cañal, 1991, 1999).

Domingos-Grilo et al. (2004) en un estudio sobre Fotosíntesis y Respiración Celular llegan a la conclusión que estas concepciones tienen diversas causas, como son las experiencias personales de la vida cotidiana, la interferencia del lenguaje popular y el científico, los medios de comunicación, la cultura propia, los profesores que pueden transmitir sus propias ideas alternativas, los libros de texto y materiales afines.

Es habitual encontrar que los alumnos tienden a creer por ejemplo que la nutrición de las plantas verdes (Angosto, 2018; Cañal, 1991) y la fotosíntesis es lo mismo, (Gómez & Velazco, 2015; Sáenz, 2012), no comprendiendo el proceso global que se desarrolla. Por otro lado, el conocimiento didáctico que presentan los docentes para la enseñanza de los contenidos sobre la

fotosíntesis, tiene también gran incidencia en los elementos que permiten construir y desarrollar el aprendizaje (Garnica & Roa, 2012; Vega et al., 2020).

Las ideas previas del alumnado han de servir como indicadores que permitan al profesorado autorregular la práctica pedagógica (Giordan, 1987). Y esta consideración implica el desarrollo de una pedagogía diferenciada, dependiente de los problemas presentados, de los objetivos que se quieran conseguir y sobre todo del alumnado.

### 2.3.1 Metabolismo

Todos los seres vivos ya sean unicelulares o pluricelulares, llevamos a cabo una serie de funciones como nutrición, reproducción, excreción, etc., para las que necesitamos un aporte continuo de energía libre. Esta energía proviene del entorno y va a ser empleada para tres fines principales: (1) la realización de trabajo mecánico en la contracción muscular y otros movimientos celulares, (2) el transporte activo de iones y moléculas, y (3) la síntesis de macromoléculas y otras biomoléculas a partir de precursores sencillos (Berg, Tymoczko & Stryer, 2008).

Según Bayliss, en sus *“Principles of General Physiology”* (Bayliss, 1915), el término "metabolismo" fue utilizado por primera vez por Sir Michael Foster en su *“Text-book of Physiology,”* cuya primera edición se publicó en 1883. Sin embargo, parece que ya Theodore Schwann, habla del mismo en su famosísima obra *“Mikroskopische Untersuchungen ueber die Uebereinstimmung in der Struktur und dem Wachsthum der Thiere und Pflanzen”*, publicada en Berlín en 1839 y en la que enuncia la Teoría Celular; en ella, Schwann, denomina fenómenos metabólicos a aquellos fenómenos que

resultan de los cambios químicos de las partículas que componen la propia célula.

Sea como fuere, el término etimológicamente proviene del griego *metabole* que significa cambio y que definen (Aznar & Alarcón, 2006) en su libro “*Etimologías grecolatinas: orígenes del español*” como conjunto de transformaciones constantes en las células del organismo. Más allá de estas definiciones iniciales, la RAE, señala que es un conjunto de reacciones químicas que efectúan las células de los seres vivos con el fin de sintetizar o degradar sustancias.

En ambas definiciones podemos encontrar que se trata de procesos celulares, en este sentido se expresa Stanier (1992), uno de los grandes microbiólogos del pasado siglo, señalando que el metabolismo es la suma de todas las transformaciones químicas que ocurren en las células.

Desde el mundo de la microbiología médica, Tortora (2007, p.115), le añade un cariz energético indicando que el término metabolismo designa la totalidad de las reacciones químicas que se producen en un organismo vivo. También señala que estas reacciones se pueden dividir en dos tipos, las que liberan energía y las que consumen energía.

En esta línea también se manifiestan Alberts et al. (2014), en *Molecular Biology of Cell*, donde apunta que en las células ocurren dos tipos opuestos de reacciones químicas que constituyen el metabolismo de la célula y que se producen de forma simultánea (ver también Teijón & Garrido, 2009):

- catabólicas, vías que descomponen los alimentos, generando así tanto energía, como moléculas precursoras para la célula y
- anabólicas o biosintéticas, que utilizan las moléculas pequeñas y la energía producida para impulsar la síntesis de las muchas otras moléculas (polisacáridos, ácidos nucleicos, proteínas y lípidos) que forman la célula.

Cerezo (2009) le da otra vuelta de rosca al concepto indicando que esas reacciones que se producen se deben a la participación de enzimas, de esta manera establece que el Metabolismo son el conjunto de reacciones bioquímicas que transcurren en una célula, entendiendo por reacciones bioquímicas las reacciones químicas catalizadas por enzimas.

Por otro lado, MEDLINEPLUS, atendiendo a su vertiente más fisiológica indica que son todos los procesos físicos y químicos del cuerpo que convierten o usan energía, tales como: respiración, circulación sanguínea, regulación de la temperatura corporal, contracción muscular, digestión de alimentos y nutrientes, eliminación de los desechos a través de la orina y de las heces, funcionamiento del cerebro y los nervios<sup>2</sup>.

Sin embargo, las definiciones más exhaustivas sin duda, las encontramos en los grandes tratados de Bioquímica. En “*Lehninger. Principios de*

---

<sup>2</sup> <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002257.htm>

*Bioquímica*” (Lehninger et al., 2009), los autores definen el Metabolismo como actividad celular en la que muchos sistemas enzimáticos cooperan para:

1. Obtener energía química a partir de energía solar o degradando nutrientes ricos en energía obtenidos del ambiente.
2. Convertir moléculas nutrientes en las moléculas características de la propia célula, incluidos los precursores de macromoléculas.
3. Polimerizar los precursores monoméricos en macromoléculas: proteínas, ácidos nucleicos y polisacáridos.
4. Sintetizar y degradar biomoléculas para funciones celulares especializadas, tales como lípidos de membrana, mensajeros intracelulares y pigmentos.

Aunque más adelante lo resumen como “suma de todas las transformaciones químicas que se producen en una célula u organismo” (p.492).

Por otro lado, en “*Bioquímica*”, (Berg et al., 2008) los autores realizan una definición más breve pero muy completa del concepto, enunciándolo como un conjunto muy ordenado de reacciones químicas que llevan a cabo las células para obtener energía y poder reductor de su entorno, así como para sintetizar sus propias macromoléculas.

En definitiva, podríamos definir el metabolismo como un conglomerado de reacciones químicas catalizadas por enzimas que tienen lugar en diversos lugares en el interior de la célula y cuya finalidad es la obtención de materia



propia y energía. Estas reacciones químicas o reacciones metabólicas presentan una serie de características generales como son:

1. Están ajustadas a las necesidades de la célula, siguiendo el principio de máxima economía. Es decir, una célula nunca produce una molécula que pueda obtener del entorno.
2. Las reacciones metabólicas están asociadas formando rutas, en las que el producto de una reacción es el sustrato de la siguiente. Estas rutas pueden ser lineales o cíclicas. La primera reacción de una ruta suele estar catalizada por una enzima alostérica, que sirve para controlar toda la ruta mediante un proceso de retroalimentación. Es decir, si hay mucho producto final, éste actúa como inhibidor de la enzima alostérica y la ruta se paraliza.
3. Las reacciones metabólicas más frecuentes son de: oxidoreducción, condensación, hidrólisis, isomerización, polimerización o transferencia de un grupo desde una molécula a otra.
4. Las reacciones metabólicas pueden ser exergónicas (liberan energía) o endergónicas (necesitan energía). La energía liberada puede perderse en forma de calor, pero con frecuencia, las reacciones están acopladas y así, la energía liberada por unas se emplea para impulsar las otras.
5. Todas las reacciones metabólicas tienen lugar en medio acuoso, por tanto, todas las sustancias que participan están disueltas en

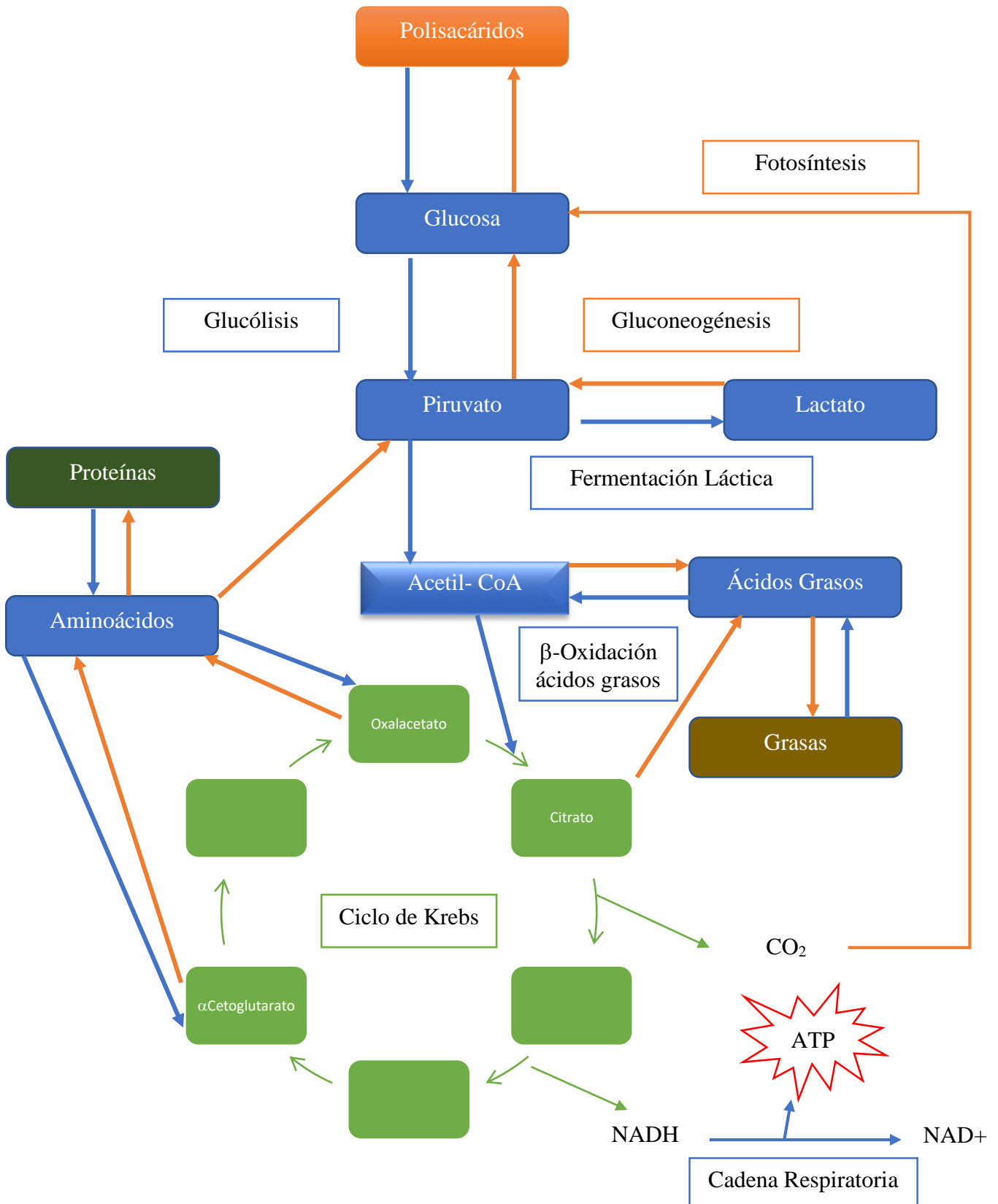
agua. El agua además es una sustancia que participa en muchas reacciones (hidrólisis e hidrataciones) o se libera en ellas (condensaciones y polimerizaciones).

6. El ATP (adenosín trifosfato) es el principal transportador de energía en la mayoría de las reacciones que tienen lugar en los sistemas vivos.

Los procesos metabólicos (Figura MT 1) que tienen como finalidad las obtenciones de biomoléculas a partir de moléculas sencillas reciben globalmente el nombre Anabolismo. Mientras que los procesos metabólicos que rompen grandes biomoléculas para obtener energía útil para las actividades celulares constituyen el Catabolismo (ver tabla MT1).

*Tabla MT 1. Resumen de las diferencias entre Catabolismo y Anabolismo.*

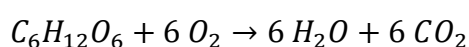
	CATABOLISMO	ANABOLISMO
<b>Uso de la energía</b>	Produce energía que almacena como ATP	Consume los ATP (energía producida en el Catabolismo)
<b>Reacciones Químicas</b>	Implica procesos de oxidación	Se producen fenómenos de reducción
<b>Empleo de Biomoléculas</b>	Degrada Biomoléculas	Sintetiza Biomoléculas
<b>Ejemplos de Rutas</b>	Glucólisis Fermentaciones Cadena Respiratoria	Fotosíntesis Gluconeogénesis Síntesis de proteínas



**Figura MT 1. Metabolismo general.** Las líneas azules representan los procesos catabólicos, mientras que las líneas naranjas los procesos anabólicos. En verde aparece el ciclo de Krebs debido a que es una ruta de carácter anfibólico (catabólica y anabólica).

### 2.3.2 Respiración Celular

El proceso respiratorio ha preocupado al ser humano desde tiempos ignotos, pero no es hasta finales del siglo XVIII con los inicios de la Química moderna cuando se va más allá del proceso de ventilación. Black propone por entonces que «*La respiración es un tipo de combustión y ésta es la fuente del calor animal*»(de Micheli, 2014). Lavoisier en su *Traité élémentaire de chimie*, asume esta idea de Black y propone la estequiometría del proceso respiratorio:



Dentro de los procesos metabólicos que generan energía el más importante es sin duda la Respiración Celular. La RAE, de hecho, la define como conjunto de reacciones metabólicas por el que las células reducen el oxígeno, con producción de energía y agua.

Alberts et al. (2014), por su parte, señalan que es un proceso por el que la célula obtiene energía a partir de azúcares u otras moléculas orgánicas produciendo CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, incluyendo por tanto al concepto, la fuente de donde proviene la energía obtenida.

Lehninger et al. (2009) introducen en su definición, el tipo de proceso químico que se produce, esto es, una oxidación, por lo que el término queda como proceso por el que la célula obtiene la energía mediante la oxidación completa de sus combustibles orgánicos a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

Otros autores sin embargo, enfatizan el proceso de transferencia electrónica que se produce, es el caso de Berg et al. (2008) que señala que es un proceso generador de ATP [energía] en el que un compuesto inorgánico (como el oxígeno molecular) actúa como aceptor final de electrones, siendo el

dador electrónico o bien un compuesto orgánico o uno inorgánico. En una línea a caballo entre los dos anteriores encontramos a Tortora et al. (2007) para los que es un proceso generador de ATP [energía] en el cual las moléculas experimentan oxidación y el aceptor final de electrones es una molécula inorgánica.

Así pues, en general, podemos definir la Respiración Celular como proceso de obtención de energía que implica la oxidación completa de la materia orgánica a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , siendo el último aceptor de electrones una molécula inorgánica.

La oxidación de la glucosa para generar ATP también se denomina respiración celular e incluye cuatro tipos de reacciones: la glucólisis, la formación de acetil coenzima A, el ciclo de Krebs y la cadena de transporte de electrones (Tortora & Derrickson, 2011). Otros autores consideran, sin embargo, que la Respiración celular se restringe a los últimos tres procesos que ocurren a nivel mitocondrial (Berg et al., 2008; Lehninger et al., 2009).

La glucólisis es la ruta metabólica que inicia la degradación de la glucosa y otras hexosas en el citosol y consiste en 10 reacciones consecutivas que rompen la glucosa en 2 moléculas de ácido pirúvico, con la producción de 2 moléculas de ATP y dos de  $\text{NADH} + \text{H}^+$  que contienen energía. Funciona prácticamente en todos los seres vivos y es la primera etapa tanto de la respiración aerobia como de las fermentaciones. Se denomina también ruta metabólica de Embden-Meyerhoff debido a que ambos fueron pioneros en su estudio.

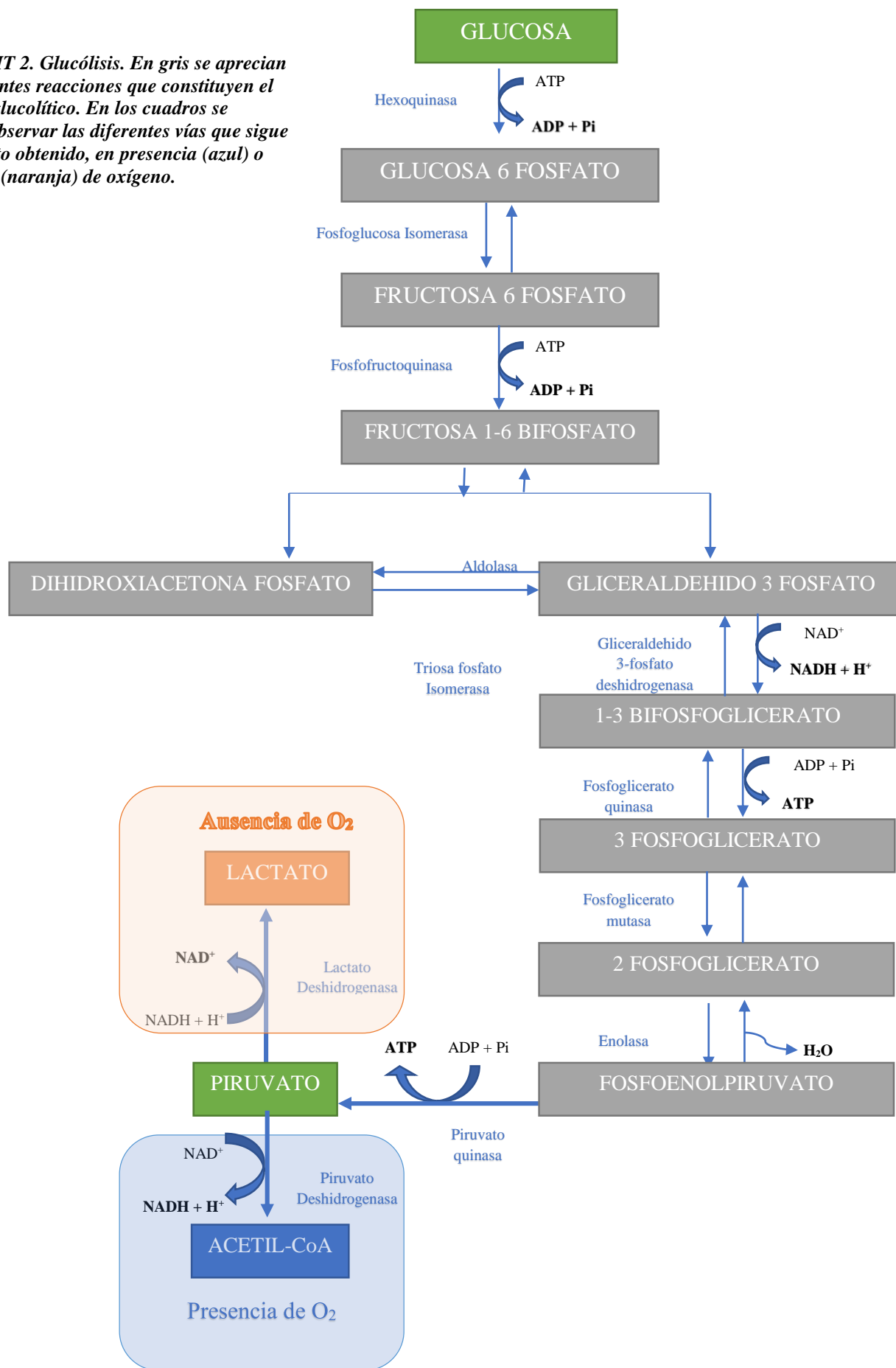
A nivel fisiológico se habla de glucólisis aeróbica para señalar que a pesar de existir unas altas tasas de oxígeno en el organismo, determinadas estructuras (células cancerígenas, estructuras cerebrales) prefieren utilizar esta ruta en detrimento de otras más rentables desde el punto de vista energético y que a nivel neurofisiológico parece estar relacionado con la conectividad funcional intrínseca neuronal (Vaishnavi et al., 2010).

Para Stryer (2008) se puede considerar que esta vía comprende tres etapas, en la primera se produce la conversión de la glucosa en fructosa 1,6 Bisfosfato, de esta manera la célula atrapa la glucosa en su interior al mismo tiempo que produce un metabolito que pueda escindirse fácilmente en unidades fosforiladas de tres carbonos, lo cual constituiría la segunda etapa. Finalmente la última fase sería la oxidación a piruvato con la formación de ATP (Berg et al., 2008).

En definitiva, en la glucólisis (figura MT 2) no solo comienza la oxidación de la glucosa, sino que se van a producir precursores para las reacciones de biosíntesis del anabolismo. Dada la importancia de esta ruta, su velocidad está regulada mediante retroalimentación negativa o inhibición por producto final.

En condiciones aeróbicas el piruvato (que también se puede producir a partir de algunos aminoácidos), mediante un transportador específico de membrana, entra en la mitocondria.

Figura MT 2. Glucólisis. En gris se aprecian las diferentes reacciones que constituyen el proceso glucolítico. En los cuadros se pueden observar las diferentes vías que sigue el piruvato obtenido, en presencia (azul) o ausencia (naranja) de oxígeno.



La mitocondria puede ser considerada como el verdadero medio aeróbico celular ya que es un orgánulo rico en O<sub>2</sub>, y por lo tanto único orgánulo específico de la respiración celular, lo cual viene avalado porque los genes mitocondriales están destinados a la función de síntesis de energía, en forma de adenosín trifosfato o ATP, mediante la fosforilación oxidativa (sistema OXPHOS)(Donaire, 2015).

En la mitocondria el piruvato sufre una descarboxilación oxidativa y se transforma en acetyl coenzima-A gracias a la acción del complejo piruvato deshidrogenasa, generando NADH + H<sup>+</sup> y CO<sub>2</sub>. El acetyl-coA que también puede proceder de la oxidación de los ácidos grasos se condensa con el Oxalacetato presente en la matriz mitocondrial para producir una molécula de 6 átomos de carbono, el citrato, dando inicio al Ciclo del ácido cítrico o Ciclo de Krebs. Esta ruta es la vía final común para la oxidación de moléculas energéticas, pero también es origen de precursores biosintéticos (Berg et al., 2008). Posteriormente, la molécula de ácido cítrico se oxida gradualmente, lo que permite producir las coenzimas reducidas NADH y FADH<sub>2</sub> que contienen los electrones de alta energía retirados de varios sustratos durante su oxidación, energía en forma de GTP y CO<sub>2</sub> como producto de deshecho. De tal manera que la ecuación neta de las reacciones del ciclo puede describirse de la siguiente manera:



Tras una cadena de ocho reacciones se regenera el oxalacetato para cerrar el ciclo, como se muestra en el esquema de la figura MT 3.



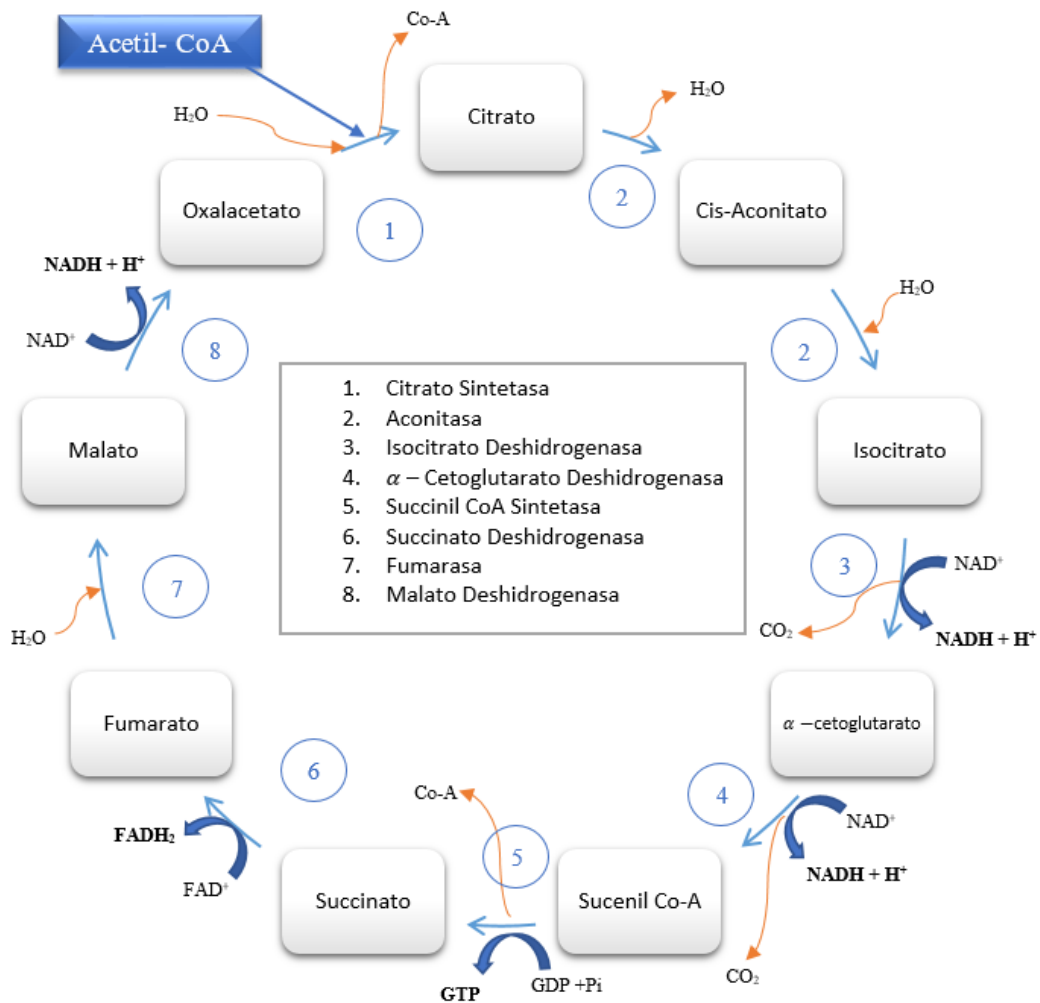


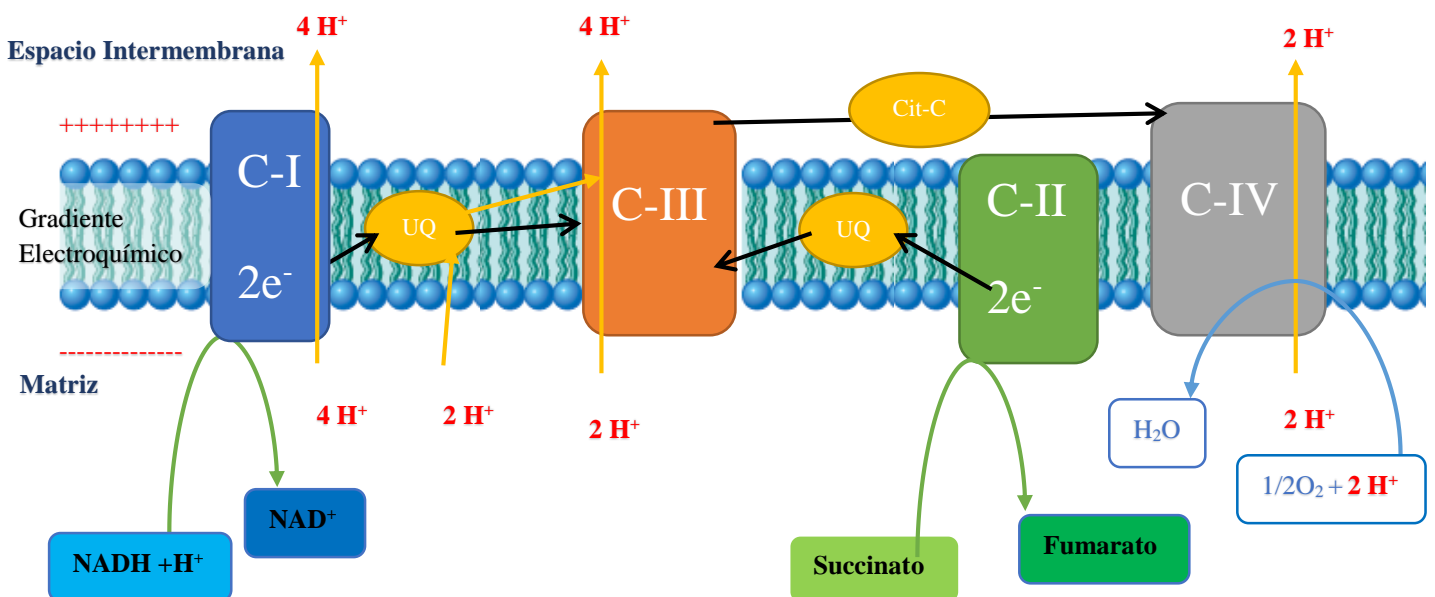
Figura MT 3. Ciclo de Krebs. Adaptado de Pratt & Cornely, (2014).

Las enzimas del ciclo del ácido cítrico están ubicadas en la matriz mitocondrial, libres o fijas a la membrana mitocondrial interna y la membrana de las crestas, donde también se encuentran las enzimas y coenzimas de la cadena respiratoria (Bender et al., 2013).

Dado que el metabolismo mitocondrial tiene como función principal, el catabolismo y por lo tanto la producción de energía a partir de la oxidación aeróbica de sustratos. El proceso oxidativo final está acoplado a una cadena de transporte electrónico encargada de transformar los potenciales de óxido-

reducción generados en forma de ATP, mediante el acoplamiento a la fosforilación oxidativa (Jiménez, 2013).

La cadena respiratoria (figura MT 4) es un conjunto de cinco complejos enzimáticos y de dos transportadores móviles de electrones, la ubiquinona y el citocromo c, que se sitúan en la membrana mitocondrial interna. Los cuatro primeros complejos se reducen y oxidan al transferirse entre ellos electrones procedentes de las formas reducidas de la nicotinamida adenina dinucleótido (NADH) y del flavín adenín dinucleótido ( $\text{FADH}_2$ ), la energía liberada en la oxidación de estas moléculas se utiliza para bombear protones desde los complejos I, III y IV al espacio intermembrana, generando así un gradiente electroquímico (potencial de membrana de aproximadamente  $-180 \text{ mV}$ ).



**Figura MT 4. Cadena transportadora de electrones mitocondrial.** La cadena respiratoria consiste en cuatro complejos de portadores de electrones y dos portadores más (ubiquinona –UQ- y citocromo c –Cit-C-) que se disponen de manera independiente. Los electrones entran a la cadena a partir de NADH (mediante el complejo I) o  $\text{FADH}_2$  (una parte del complejo II). Los electrones pasan del complejo I o II a la ubiquinona. Luego, los electrones pasan de la ubiquinona reducida (ubiquinol) al complejo III y después al citocromo c proteico periférico, que al parecer es móvil. Los electrones se transfieren del citocromo c al complejo IV (citocromo oxidasa) y después al  $\text{O}_2$  para formar  $\text{H}_2\text{O}$ . Adaptado de Karp, (2014).

El complejo IV, también llamado citocromo C oxidasa, capta los electrones y los transfiere a su aceptor final, que en este caso es el oxígeno molecular.

El último complejo, el de la ATP Sintetasa o complejo V, interviene en la formación de ATP. La diferencia de concentración de protones generada entre la matriz mitocondrial y el espacio intermembrana, permite la translocación de éstos, desde el espacio intermembrana hacia la matriz a través de la proteína transmembrana ATP sintetasa que cataliza la adición de un fosfato al adenosín difosfato (ADP) para finalmente sintetizar ATP. Finalmente, el ATP generado será liberado al citosol celular, intercambiado por ADP a través de la translocasa de nucleótidos de adenina.

Dada la cantidad de procesos bioquímicos y fisiológicos involucrados en la comprensión del proceso, se encuentran graves dificultades para el entendimiento del metabolismo de los carbohidratos, como lo demuestran las numerosas investigaciones que se han realizado en todos los niveles educativos. Songer & Mintzes (1994) realizaron un estudio con alumnos universitarios de Biología, en el que mediante mapas conceptuales y entrevistas personales encontraron graves errores conceptuales en el aprendizaje de la respiración celular, principalmente en el papel que juega el oxígeno en el proceso.

No solo los estudiantes tienen problemas a la hora de comprender los procesos de respiración celular. En un estudio realizado con futuros docentes de ciencias, Akçay (2017) encuentra que los futuros profesores presentaban

grandes dificultades en la comprensión de los flujos energéticos y propone el aprendizaje empleando mapas conceptuales.

Es evidente que la enseñanza de la respiración celular supone un gran reto para los docentes y que la enseñanza tradicional no es capaz por sí sola de generar unos aprendizajes significativos, por ello, se ha tratado de abordar desde diferentes puntos de vista. Una de las formas tradicionales en la que se ha abordado su aprendizaje ha sido a través del establecimiento de analogías entre el proceso metabólico y un modelo de combustión química. Pégola y Galagovsky (2020), demuestran que este tipo de analogía que excluye una discusión epistemológica de sus alcances y limitaciones genera errores en el aprendizaje.

Çakir et al. (2002), tras un estudio de los errores conceptuales de alumnos de secundaria para la respiración celular, propone un proceso de instrucción al alumnado en el cambio conceptual, poniendo un mayor énfasis en trabajar los conceptos erróneos.

Garófalo et al. (2014) estudian tres tipos de modelos científicos para la enseñanza del catabolismo de los carbohidratos llegando a la conclusión que generan dos tipos de obstáculos epistemológicos, tipo brecha y tipo puente, por lo que propone cambios en los criterios de selección de contenidos y sobre las metodologías de enseñanza aplicadas en los diferentes niveles educativos acerca del metabolismo de glúcidos.

De todos estos estudios se puede obtener la conclusión de que se hace necesario un cambio profundo en la enseñanza de la respiración celular, como puede ser el empleo de metodologías que fomenten interés y motivación del

alumnado; que consideren los diferentes estilos de aprendizaje de los alumnos; que introduzcan el aprendizaje autónomo y que involucren al mismo en un proceso de aprendizaje cooperativo (Salinas, 2020).

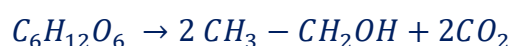
### 2.3.3 Fermentación

El término fermentación referido a un proceso fisiológico lo encontramos en el “*Libro de la Anothomia del hōbre*” (Montaña De Monserrate, 1554):

“La sangre arterial mientras vivimos siempre está fermentada por la fermentación que se hizo en la madre[...] la sangre al no tener bastante fermentación y entonces cesa el crecimiento”.

En primer lugar, hay que resaltar, por un lado, que el nombre de fermentación es muy antiguo y significa “ebullición a temperatura ambiente”, de hecho, se utilizó por primera vez para describir la ebullición aparente observada durante la elaboración de los vinos, debida a la producción del dióxido de carbono que es liberado en forma de burbujas que generan movimientos en el seno del mosto y, por otro lado, que el nombre fermento es sinónimo de levadura y en menor medida de microbio (Parés & Juárez, 2021).

El proceso químico fue dilucidado por Gay-Lussac a principios del siglo XIX, estableciendo para la Fermentación Alcohólica la siguiente ecuación estequiométrica:



Posteriormente Pasteur estudiando la elaboración de los vinos sienta las bases biológicas tanto de la fermentación alcohólica como de la láctica. Por

ello, el concepto de fermentación se ha ido modificando con el tiempo abarcando gran cantidad de procesos. Sin embargo, prevalecen dos criterios para su definición uno bioquímico y otro microbiológico.

La Real Academia de la Lengua nos define el verbo fermentar (Del lat. fermentāre) como: “1. intr. Dicho de los hidratos de carbono: Degradarse por acción enzimática, dando lugar a productos sencillos, como el alcohol etílico”.

El término fermentación, en su acepción estricta, se refiere a la obtención de energía en ausencia de oxígeno; de ahí que Pasteur la denominara "la vie sans l'air" o "la vida sin aire" al demostrar definitivamente el origen biológico de las fermentaciones, oponiéndose a la teoría, mantenida por Berzelius y Liebig en los años 1880-1882 (Acevedo & García, 2016), que daba a la fermentación un origen meramente químico, aunque posteriormente y de manera casual los hermanos Buchner, utilizando extractos de levadura, demuestran en 1897 que las fermentaciones se podían dar también fuera de las células vivas, quedaba claro que la conversión de glucosa en CO<sub>2</sub>, etanol y otras sustancias era el resultado de una serie de reacciones químicas catalizadas por enzimas, lo que abría la puerta a la Bioquímica moderna (Berg et al., 2008).

La fermentación, según Cerezo, es la degradación del azúcar en condiciones anaerobias. En función del organismo que la realiza y el producto que se obtiene, se distingue la fermentación láctica y la fermentación alcohólica (Cerezo, 2009).

Para Stanier et al. (1992) las fermentaciones son reacciones de mantenimiento que no requieren la participación de una cadena de transporte de electrones (aunque en algunos casos éstas desempeñan funciones

secundarias), donde el sustrato orgánico experimenta una serie de reacciones oxidativas y reductoras equilibradas.

Quizás una de las definiciones más completas y sencillas es la que ofrece Tortora et al., (2007) en su libro “Introducción a la Microbiología”, en el cual define a la fermentación como:

1. Proceso que libera energía a partir de azúcares u otras moléculas orgánicas, como aminoácidos, ácidos orgánicos, purinas y pirimidinas.

2. No necesita oxígeno.

3. No necesita recurrir al ciclo de Krebs ni a una cadena transportadora de electrones.

4. Utiliza una molécula orgánica como aceptor final de electrones.

5. Solo produce pequeñas cantidades de ATP.

A pesar de esta definición y consciente de la polisemia de la palabra ofrece otras definiciones relacionadas con el ámbito industrial: “Cualquier proceso microbiano en gran escala en condiciones aerobias o anaerobias”. O definiciones más populares como: “Cualquier descomposición de los alimentos producida por microorganismos” o “Cualquier proceso que genere bebidas alcohólicas o productos lácteos”.

La palabra *fermentación* pues, es confusa en Microbiología porque con ella se hace referencia a cuatro tipos de procesos diferentes: el metabolismo microbiano en ausencia de oxígeno (1), la producción de metabolitos secundarios (2), la modificación de compuestos químicos por microorganismos

en crecimiento (3) y el crecimiento bacteriano en sí cuando el interés del cultivo es la producción de biomasa (4).

Tradicionalmente se ha utilizado la palabra *fermentación* en microbiología industrial para describir los procesos de cultivo de microorganismos con propósitos industriales. Sin embargo, no hay que confundir esta utilización del término con el proceso bioquímico de fermentación consistente en la regeneración del  $\text{NAD}^+$  (nucleótido derivado de la vitamina niacina) para que continúe el proceso glucolítico (Berg et al., 2008) por un procedimiento no dependiente de oxígeno.

La fermentación que tiene lugar en la producción del vino, en este sentido, comprende ambos significados: por un lado, se trata bioquímicamente de un proceso de fermentación (producción de alcohol a partir de glucosa en condiciones anaerobias) y es una fermentación industrial en el sentido de que se trata de un proceso industrial llevado a cabo por microorganismos.

La fermentación es un proceso catabólico anaerobio alternativo a la respiración celular que implica la oxidación anaerobia incompleta de la materia orgánica en la que el último aceptor de los electrones del  $\text{NADH} + \text{H}^+$ , es otra molécula orgánica, generando productos residuales muy energéticos aún, como el etanol o el ácido láctico. Ocurre en el citoplasma celular y en ella no interviene ni la mitocondria ni la cadena respiratoria. Es llevado a cabo por microorganismos que no toleran el oxígeno o por ciertas células eucariotas cuando no disponen de suficiente oxígeno.

Las fermentaciones son poco rentables desde el punto de vista energético, ya que la oxidación de la materia orgánica es incompleta, por ello



se forma mucho menos ATP que en la respiración celular aerobia. En general, únicamente 2 ATP por cada molécula de glucosa oxidada.

Sin embargo, en la naturaleza los procesos fermentativos cumplen un papel muy importante, ya que, en condiciones de anaerobiosis, la materia orgánica residual acumulada solo puede ser mineralizada por la actividad de microorganismos fermentadores en colaboración con otras especies bacterianas anaerobias (Curtis et al., 2008).

Dependiendo del producto final, se diferencian varios tipos de fermentaciones. Entre ellas:

*Fermentación láctica.* Llevada a cabo por bacterias como *Lactobacillus sp.* y *Streptococcus sp.*, que fermentan el azúcar de la leche o lactosa, originando ácido láctico. Consiste, por tanto, en la degradación anaerobia de la glucosa a ácido láctico (Figura MT 5).

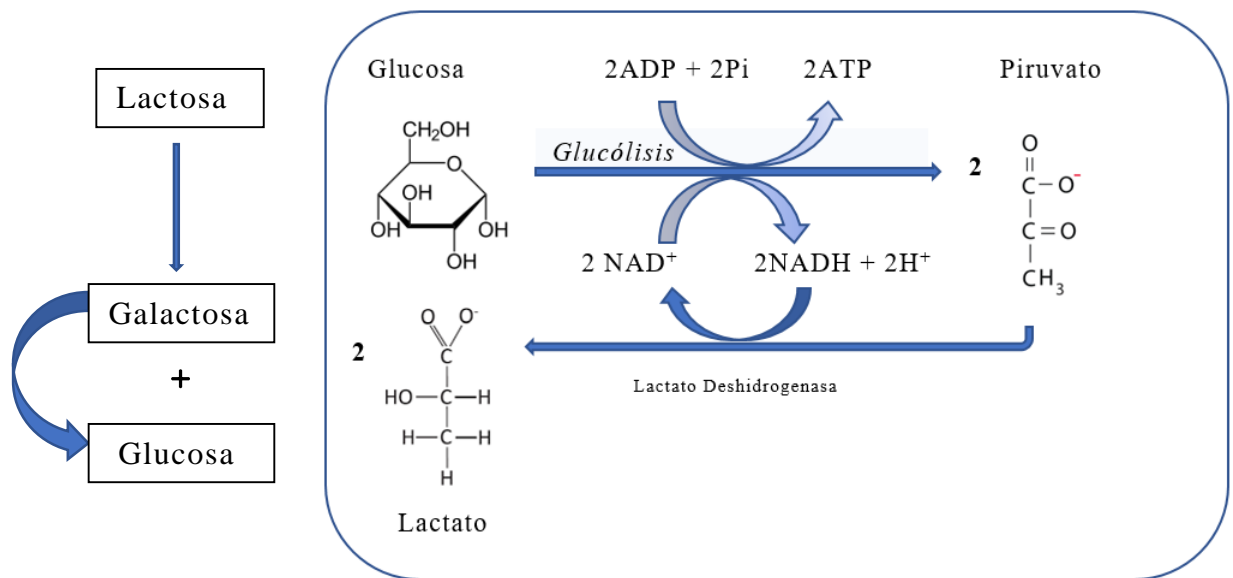


Figura MT 5. Fermentación Láctica.

La regeneración del  $\text{NAD}^+$  consumido en la glucólisis es muy importante, ya que la ausencia de dicho nucleótido provocaría el bloqueo de la glucólisis y por tanto la producción de energía para la célula.

Industrialmente se emplea para fabricar queso, yogur, mantequilla, etc. El proceso origina ácido láctico a partir de la degradación de la glucosa. La reacción está catalizada por la enzima lactato deshidrogenasa, que reduce el piruvato a lactato, mientras que el  $\text{NADH}$  se reoxida a  $\text{NAD}^+$ .

También ocurre en células musculares cuando falta el oxígeno. El ácido láctico producido en los tejidos difunde al torrente sanguíneo y llega al hígado donde es oxidado a piruvato y, por la vía gluconeogénica (ver metabolismo general figura MT1) puede convertirse en glucosa, o puede ser metabolizado aeróbicamente (Teijón & Garrido, 2009).

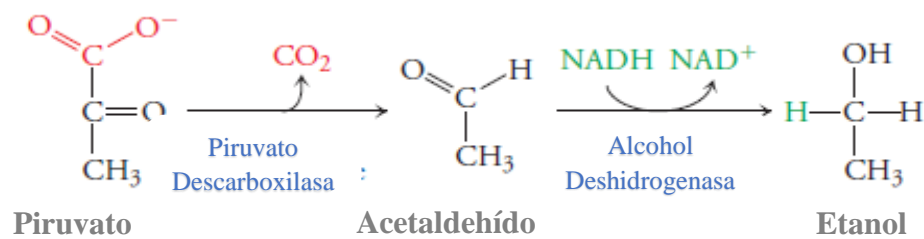
*Fermentación alcohólica.* En este proceso bioquímico el piruvato producido en la glucólisis, se transforma en etanol y se desprende  $\text{CO}_2$ . (Figura MT 6).



La realizan, sobre todo, levaduras (Hongos unicelulares) del género *Saccharomyces* que tienen interés en la industria alimenticia por los productos residuales de su metabolismo: el  $\text{CO}_2$  para esponjar la masa en la fabricación del pan; y el etanol para producir diferentes bebidas alcohólicas (vino, sidra, cerveza...).

El proceso se realiza en dos etapas, en una primera se produce la descarboxilación del piruvato procedente de la glucólisis, lo que libera  $\text{CO}_2$  y

la hidrogenación del producto resultante (acetaldehído), para dar etanol, con el consecuente mantenimiento del balance redox, a través de la regeneración del  $\text{NAD}^+$  que se había consumido en la glucólisis para producir el  $\text{NADH}$  por la acción de la gliceraldehído 3-fosfato deshidrogenasa (ver figura MT2 sobre la Glucólisis).



**Figura MT 6. Fermentación alcohólica. Adaptado de (Pratt & Cornely, 2014). En azul las enzimas que intervienen en el proceso. En verde el  $\text{NAD}^+$  regenerado.**

A pesar, de las múltiples vías que nos acercan el concepto de fermentación o quizás debido a ellas, actualmente, la representación mental que hacen de dicho concepto los estudiantes dista mucho de ser la idónea. Así por ejemplo, un estudio realizado en una Escuela Superior de Educación en Indonesia para un curso de Biotecnología, señalaba que casi el 60% del alumnado estudiado o desconocían completamente el concepto o presentaban numerosos errores conceptuales (Duda et al., 2019).

Para remediar este problema algunos autores proponen un aprendizaje basado en la utilización de la investigación, de tal manera que mediante el diseño y realización de prácticas de fermentación con levaduras en laboratorio, el alumno adquiera y profundice en los principales términos relacionados con los procesos fermentativos (Ho Chan et al., 2021). Este tipo de procesos presenta además el incentivo de que es percibido como innovador e interesante

por el alumnado, aumentando la motivación de los mismos y favoreciendo el proceso de enseñanza-aprendizaje (Muñoz-Campos et al., 2020). Los resultados obtenidos apuntan a que desde la perspectiva de los estudiantes la integración de estas prácticas científicas es viable, dando lugar a secuencias de enseñanza-aprendizaje que sean de su interés y en las que se impliquen.

En definitiva, los procesos catabólicos implican la obtención de energía en forma de ATP. En el caso de células eucariotas, la fermentación, se producirá en el citoplasma para producir pequeñas cantidades de energía, siempre que la célula no tenga oxígeno suficiente, para enviar a las mitocondrias, único orgánulo capaz de realizar la Respiración Celular ya que contiene los complejos proteicos capaces de transportar los electrones hasta el oxígeno obtenido del medio y generar una mayor cantidad de energía.

#### 2.3.4 Fotosíntesis

La vida en la tierra depende fundamentalmente de la energía solar, la cual es atrapada mediante el proceso fotosintético, que es responsable de la producción de toda la materia orgánica que conocemos. En los vegetales, la glucosa se sintetiza a partir de dióxido de carbono y agua por medio de fotosíntesis, y es almacenada como almidón o usada para sintetizar la celulosa de las paredes de las células vegetales.

La palabra fotosíntesis es un neologismo formado a partir de dos palabras griegas. La primera, foto, cuyo significado es luz y la segunda palabra que es síntesis. El concepto etimológico de este término es entonces, la composición a partir de la luz, proceso de síntesis de carbohidratos (Aznar & Alarcón, 2006).

El proceso químico de la fotosíntesis fue dilucidado a finales del siglo XVIII gracias a los pioneros trabajos de Priestly, Ingenhouz, Senebier y Saussure (Parés & Juárez, 2008), aunque no sería hasta el último tercio del siglo XIX cuando Boussingault y Sachs establecen la ecuación clásica de la fotosíntesis:



Tras diversas aproximaciones al proceso, Van Niel, en 1962, presenta la formulación general de la fotosíntesis, pero además concluye con dos afirmaciones importantes:

Que el oxígeno desprendido en la fotosíntesis de las plantas superiores procede del agua y no del dióxido de carbono y que la verdadera asimilación del dióxido de carbono no depende de la luz, ya que, en el caso de plantas superiores, el fenómeno fotoquímico sólo aporta la energía necesaria para suministrar el hidrógeno requerido por las reacciones de reducción en su asimilación.



La fotosíntesis es sin embargo un proceso muy complejo, que incluye el transporte de electrones y el metabolismo fotosintético del carbono (Taiz & Zeiger, 2006). Para Tortora en esencia es la conversión de energía lumínica en energía química que se utiliza para convertir el CO<sub>2</sub> atmosférico en compuestos carbónicos más reducidos, sobre todo azúcares. (Tortora et al., 2007, p.141).

Lehninger señala que los organismos fotosintéticos atrapan la energía solar en forma de ATP y NADPH, que utilizan como fuentes de energía para

fabricar glúcidos y otros compuestos orgánicos a partir de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  liberando simultáneamente  $\text{O}_2$  a la atmósfera (Lehninger et al., 2009).

La fotosíntesis, en definitiva, es el proceso mediante el cual las plantas, las algas y algunas bacterias son capaces de fabricar materia orgánica (fundamentalmente glúcidos) a partir de  $\text{CO}_2$ , gracias a la asimilación de energía solar que es transformada en energía química. La fotosíntesis tiene lugar en los cloroplastos de las células vegetales o en los mesosomas de las procariotas. Este proceso es fundamental en la Tierra, puesto que inicia la mayor parte, de las cadenas alimentarias en los ecosistemas.

La fotosíntesis puede ser oxigénica o anoxigénica, según desprenda oxígeno o no:

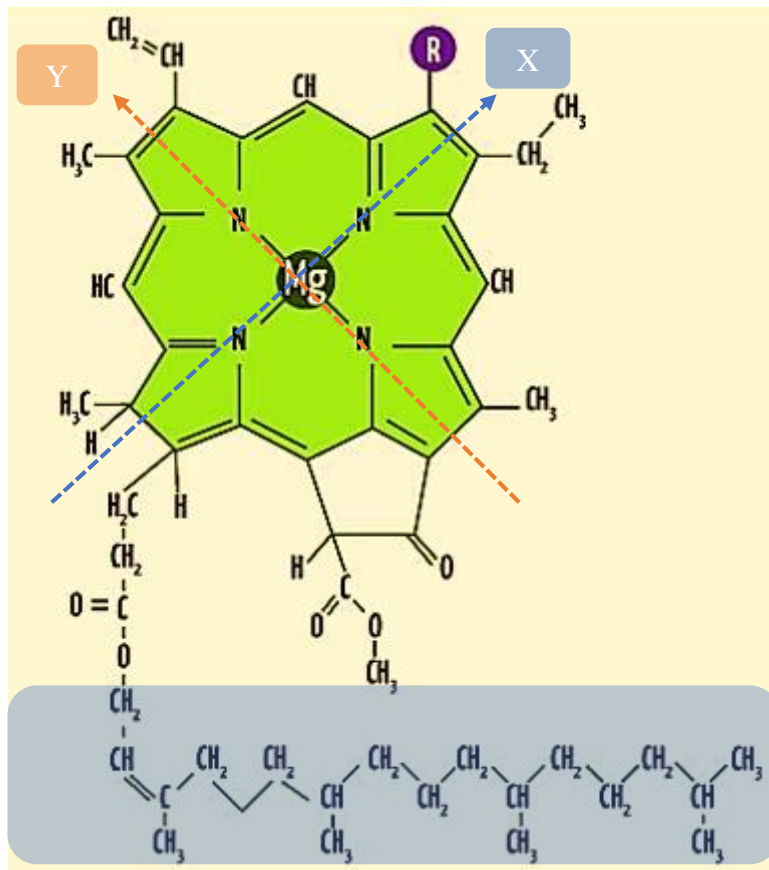
- La fotosíntesis anoxigénica, es menos conocida y la realizan algunos tipos de bacterias (verdes, rojas y cianobacterias en condiciones especiales). En ella no se libera oxígeno porque la molécula donante de electrones (y protones) no es el agua, sino otras moléculas inorgánicas como el hidrógeno molecular ( $\text{H}_2$ ) o el sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Este tipo de fotosíntesis surgió primero en la evolución, es más sencilla y exclusiva de determinados ambientes (Madigan et al., 2015).

- La fotosíntesis oxigénica es la más conocida y la realizan las cianobacterias, las plantas y las algas. En ella interviene el agua como donante de electrones (y protones) y se obtiene  $\text{O}_2$  como subproducto.

La fotosíntesis vegetal, por tanto, es oxigénica y tiene lugar en los cloroplastos de las células vegetales, orgánulo donde se va a producir poder

reductor (NADPH), energía (ATP) y carbohidratos a partir de la fijación del carbono del CO<sub>2</sub> atmosférico (Cerezo, 2009).

La absorción de la luz se produce por unos pigmentos especializados denominados clorofilas (figura MT 7). Son de color verde, puesto que absorben longitudes de ondas largas (rojos) y cortas (violetas), reflejando las intermedias (verdes).



**Figura MT 7. Estructura básica de la Clorofila. En verde el anillo tetrapirrólico, en azul el fitol. Las diferentes clorofilas se distinguen por pequeños cambios en su estructura. Así por ejemplo la clorofila a presenta como grupo funcional en el carbono 7 (R), un metilo (-CH<sub>3</sub>), mientras que la clorofila b presenta un grupo aldehído (-CHO). Otras clorofilas presentan también variaciones en los carbonos C3, C8 y C17. Los ejes X e Y, se corresponden con las bandas de absorción. Adaptado de Azcón Bieto (Azcón-Bieto & Talón, 2013).**

Su estructura básica está formada por un núcleo de porfirina (molécula constituida por 4 anillos de pirrol con un átomo de Mg) unida al fitol, lípido isoprenoide hidrófobo que facilita el anclaje de la clorofila entre los fosfolípidos de la membrana tilacoidal (Azcón-Bieto & Talón, 2013).

Existen varios tipos de clorofila: en los vegetales encontramos la clorofila a y la clorofila b, mientras que en microorganismos fototróficos existen otros tipos de clorofilas, como la clorofila c, la d o la bacterioclorofila que se encuentra en bacterias rojas y verdes.

Además de las clorofilas aparecen otros pigmentos, llamados pigmentos accesorios, que captan la luz de las zonas del espectro visible donde las clorofilas absorben menos. Entre ellos se encuentran los carotenos (anaranjados), las xantofilas (amarillas) y las ficobilinas (rojas y azules, propias de las cianobacterias y algas rojas).

El proceso fotosintético se compone de una fase luminosa que ocurre en los tilacoides (donde se encuentran los complejos captadores de luz, las cadenas de transporte electrónico y la ATP-sintetasa) y una fase oscura o ciclo de Calvin que ocurre en el estroma.

### *Fase luminosa*

Insertados en las membranas tilacoidales se encuentran los cuatro complejos proteínicos que llevan a cabo la primera fase de conversión de energía. Los tres primeros están implicados en la transferencia electrónica a lo largo de la membrana y en la transferencia protónica a través de la membrana (del estroma al lumen). Dos de estos complejos son, además, fotosistemas, es



decir, sistemas capaces de absorber y transformar la energía fotónica en energía electroquímica redox; y se denominan fotosistema I (genera el potencial redox más negativo de la naturaleza) y fotosistema II (genera un oxidante cuyo potencial redox es lo suficientemente alto como para permitirle oxidar el H<sub>2</sub>O) (Nelson & Yocum, 2006, p.521).

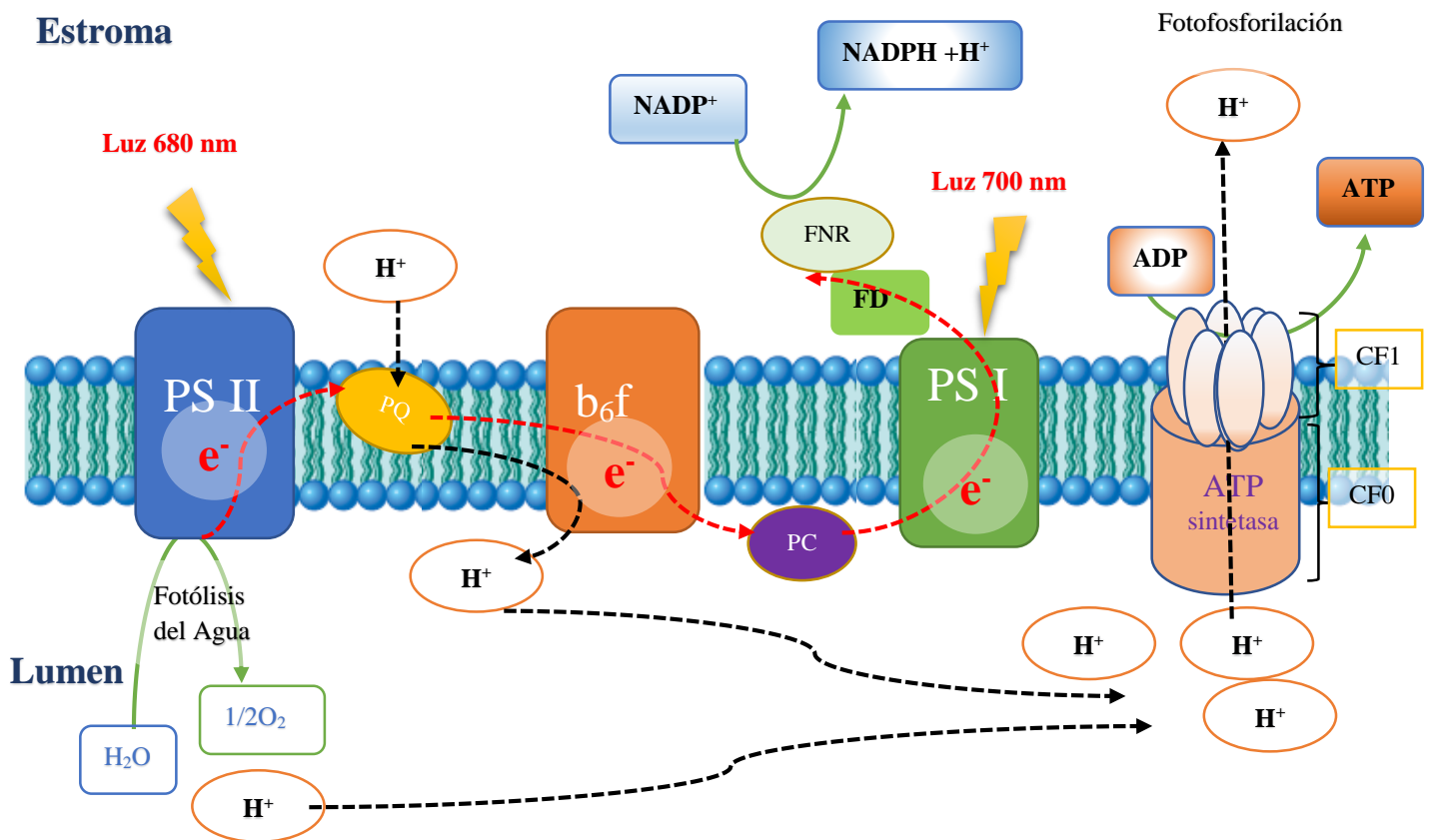
Los fotosistemas constan de dos partes:

1. El complejo antena o LHC (light harvesting complexes): LHCI, normalmente asociada al fotosistema I (PSI en adelante), y LHCII, normalmente asociada al fotosistema II (PSII en adelante). Ambos están formados por cientos de moléculas de clorofila, carotenos y xantofilas, que captan la energía solar y la transmiten al centro de reacción.
2. El Centro de reacción, formado por una molécula especial de clorofila a (P700 la que se encuentra en el PSI y P680 en el PSII). Esta clorofila se excita al recibir la energía del complejo antena y cede electrones.

El tercer complejo es un sistema conector entre los dos fotosistemas, llamado complejo citocromo b6f.

Finalmente, existe un cuarto complejo proteínico, una ATP sintetasa, que utiliza el gradiente de protones formado. Al fluir estos protones del lumen al estroma, proporciona la energía suficiente (fuerza protón-motriz) para sintetizar ATP.

Durante la fase luminosa (Figura MT8) ocurren tres procesos principales: la fotólisis del agua (que origina  $O_2$ ), la formación de poder reductor ( $NADPH + H^+$ ) y la síntesis de ATP o fotofosforilación. El ATP y el poder reductor serán consumidos en la fase oscura para reducir el  $CO_2$  a glucosa.



**Figura MT 8. Fase luminosa.** Se puede observar la formación de NADPH gracias a los electrones liberados por la oxidación de  $2 H_2O$  en el Fotosistema II formándose  $2 NADPH$  por cada molécula de  $O_2$ . A medida que los protones generados atraviesan el componente CF<sub>0</sub> de la ATP sintetasa del cloroplasto (siguiendo su gradiente de concentración desde la luz hasta el estroma), el componente CF<sub>1</sub> lleva a cabo la síntesis de ATP o Fotofosforilación.

Dependiendo de qué fotosistemas intervengan y qué productos se obtengan, podemos distinguir dos modalidades de fase luminosa:

Acíclica: En la que intervienen los dos fotosistemas y se produce ATP, poder reductor ( $\text{NADPH}_2$ ) y  $\text{O}_2$ .

Cíclica, en la que solo interviene el fotosistema I, originándose solamente ATP.

Por tanto, el proceso de conversión de energía luminosa en electroquímica se inicia con la absorción de la luz por los complejos antena y la posterior canalización de la energía de los fotones hacia los centros de reacción de los dos fotosistemas. Allí excitan a los pigmentos P680 y P700, que pierden tantos electrones como fotones son absorbidos. Los electrones van a pasar por sendas cadenas de transporte electrónico, cada una de ellas con una finalidad diferente.

En el PSII los electrones pasan por la plastoquinona, complejo citocromo b-f y plastocianina. Acoplado a este transporte se produce un bombeo de protones desde el estroma al interior de los tilacoides, creándose un gradiente electroquímico. Cuando los protones intentan pasar nuevamente al estroma a favor de gradiente, lo hacen a través de la ATP-sintetasa que fabrica ATP a partir de ADP y fosfato ( $\text{P}_i$ ). Este mecanismo se denomina fotofosforilación no cíclica.

En el PSI sin embargo, los electrones pasan de la ferredoxina a la NADP-reductasa, que reduce el  $\text{NADP}^+$  a  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ . Ocurre así la formación de poder reductor. Por cada dos  $e^-$  se forma una molécula de  $\text{NADPH}_2$ .

Para volver a actuar los fotosistemas oxidados deben recuperar los electrones que pierden. El PSI lo consigue porque se encuentra al final de la cadena de transporte electrónico del PSII. De este modo los electrones pasan de la plastocianina al PSI (que se reduce).

En cambio, el PSII se reduce provocando la rotura de la molécula de agua gracias a la luz (fotólisis del agua). Este proceso es llevado a cabo por una enzima poco conocida que requiere Mn y proporciona electrones para el PSII, protones en el interior del tilacoide y oxígeno que se desprende. Así, los electrones (e-) que recorren las cadenas de transporte electrónico de la fotosíntesis proceden del agua.

La reacción global de la fase luminosa de la fotosíntesis es:



Dado que en la fase oscura se va a necesitar más ATP que NADPH, existe otro proceso llamado fotofosforilación cíclica; que solo produce ATP. En este proceso solo interviene el PS I y algunos transportadores electrónicos. Se llama cíclico porque los electrones que pierde el PSI cuando se excita por la luz son los mismos que luego volverán a él.

### *Fase oscura (ciclo de Calvin)*

El ciclo de Calvin-Benson consiste en una serie de reacciones de oxidación y reducción con hidratos de carbono intermediarios de tres, cinco, seis y siete carbonos que permite tanto la fijación del dióxido de carbono como la recuperación del sustrato que inicia el ciclo, la ribulosa-1,5-bisfosfato, y la liberación de un hidrato de carbono como rendimiento del mismo.

Tiene lugar en el estroma y en ella se gasta el ATP y el poder reductor obtenido en la fase luminosa, para fabricar materia orgánica sencilla a partir de materia mineral. El proceso fundamental de la fase oscura es la reducción del CO<sub>2</sub> atmosférico hasta glucosa, mediante una serie de reacciones cíclicas.

Como la mayoría de los compuestos del ciclo de Calvin (Figura MT 9) tienen 3 átomos de carbono, a esta ruta también se la conoce como ciclo C3 o de las plantas C3.

El ciclo se inicia gracias a la enzima ribulosa-bisfosfato-carboxilasa-oxidasa (Rubisco), que cataliza la incorporación de CO<sub>2</sub> atmosférico o disuelto en agua.

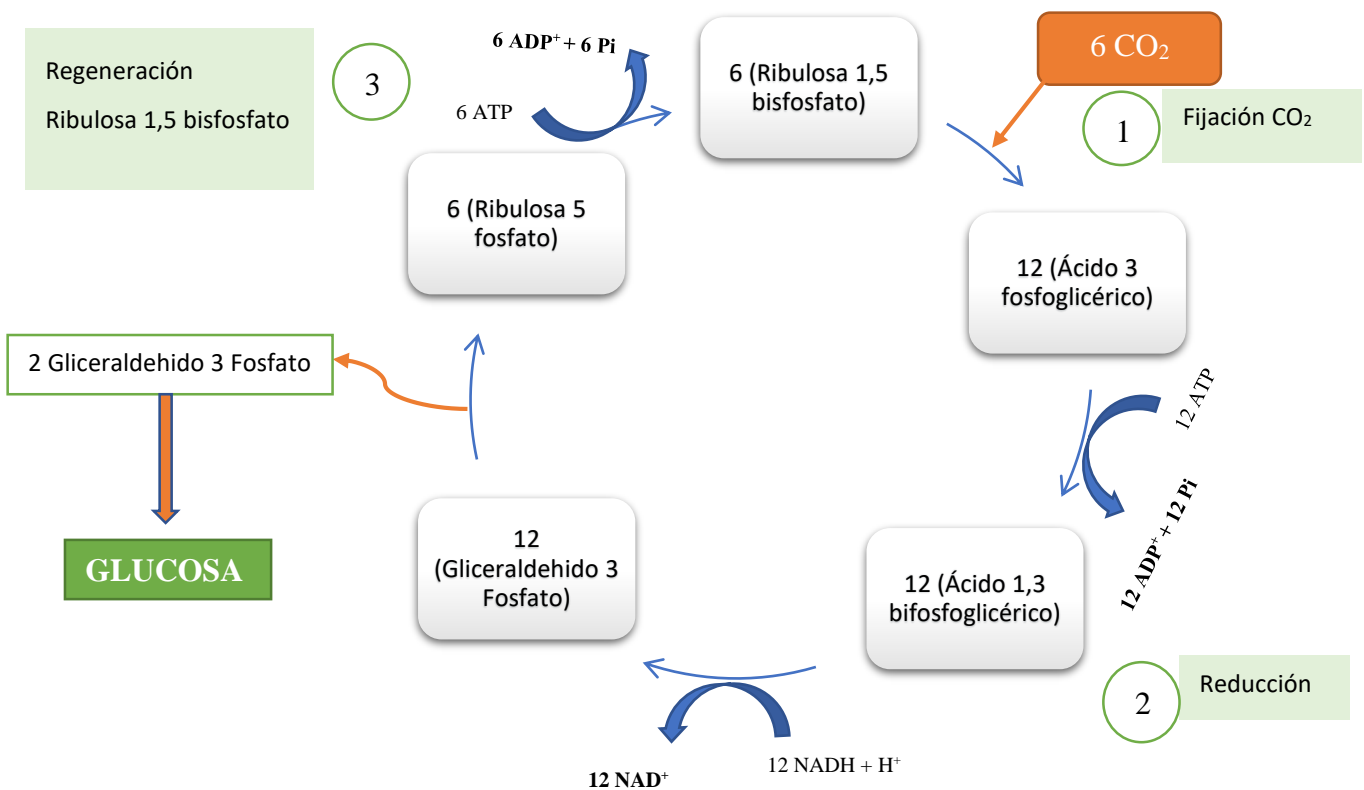


Figura MT 9. Ciclo de Calvin. Adaptado de Lehninger et al., (2009).

En el ciclo de Calvin podemos distinguir 3 etapas (Figura MT 9);

1. **Fijación del CO<sub>2</sub>.** Mediante la rubisco, un compuesto de 5 átomos de carbono, la ribulosa-1,5- bisfosfato, se combina con el CO<sub>2</sub> formando un compuesto inestable de 6 carbonos, que rápidamente se escinde en dos moléculas de ácido 3-fosfoglicérico.

2. **Fase de reducción.** El ácido 3-fosfoglicérico se fosforila y luego se reduce para transformarse en gliceraldehido 3-fosfato. Se consume ATP y poder reductor.

Parte del gliceraldehido 3-fosfato obtenido seguirá el ciclo y parte será sustraído para fabricar glucosa.

3. **Regeneración de la ribulosa 1,5-bisfosfato:** Mediante un proceso complejo (en el que se suceden compuestos de 4, 5 y 7 carbonos) y con gasto de ATP, se vuelve a regenerar la ribulosa 1,5 bisfosfato.

Para obtener una molécula de glucosa, que se suele considerar el producto final de la fotosíntesis, es necesario que en la fase luminosa se produzcan 18 ATP y 12 NADPH. Estos productos son consumidos en la fase oscura para que el ciclo de Calvin de 6 vueltas, fijando 6 moléculas de CO<sub>2</sub> en dos moléculas de gliceraldehido-3-fosfato, de las cuales se obtiene una de glucosa. Por ello, el balance energético del ciclo se puede expresar de la siguiente manera:



Este proceso no necesita la presencia directa de luz ni de clorofila. Pero como se consume el ATP y NADPH de la fase luminosa, el ciclo de Calvin se detiene a los pocos segundos de faltar la luz.

Coincidimos con Charrier et al. (2006), en que la fotosíntesis junto con la respiración celular son los procesos metabólicos que más problemas de aprendizaje generan en los estudiantes debidos a su complejidad. Los estudios primeros realizados sobre las dificultades en el aprendizaje de la fotosíntesis, ya señalaban que la fotosíntesis era reconocida como un proceso inverso a la respiración animal (Astudillo & Gene, 1984b; Cañal, 1991; Domingos-Grilo et al., 2004). Estos tópicos aparecen además de forma generalizada en todos los países del mundo y en diferentes niveles educativos, que van desde primaria hasta estudios universitarios, sin olvidar a los propios docentes (Köse, 2008). Entre esas ideas alternativas podemos señalar también:

La fotosíntesis es considerada como un proceso que introduce en la planta  $\text{CO}_2$  y expulsa  $\text{O}_2$  por el día mientras que por la noche realiza el fenómeno contrario, muy relacionada con la idea de que las plantas fotosintetizan por el día y respiran por la noche (Cañal, 1991; Köse, 2008; Marmaroti & Galanopoulou, 2006). Otra de las ideas alternativas recurrentes es suponer que la fotosíntesis es la respiración de las plantas (Köse, 2008; Marmaroti & Galanopoulou, 2006; Yenilmez & Tekkaya, 2006). Se establece por parte del alumnado un paralelismo con el mundo animal de manera que la fotosíntesis es un proceso de intercambio gaseoso en el que, en vez de consumir oxígeno, se genera; y así “todo está en equilibrio y funciona bien en el planeta” (Angosto, 2018).

En la idea de buscar las causas de la persistencia global de estas ideas, Sáenz (2012) señala que los estudiantes perciben el proceso de fotosíntesis de manera fragmentada y no logran establecer que dicho proceso requiere de diversos factores, que en su conjunto son indispensables. En esta línea se manifiestan Vega et al. (2020), que achacan esa visión fragmentada al proceso de escolarización en una investigación de las ideas alternativas de alumnos de secundaria sobre fotosíntesis. En dicho estudio, encuentran que los alumnos entienden la fotosíntesis como una forma de respiración de las plantas, que el oxígeno que producen se emplea exclusivamente para satisfacer el requerimiento de otros seres vivos, excepto el propio y que a pesar de que consideran al sol como un factor esencial para la fotosíntesis, no le asocian el valor energético que la luz solar representa para la planta en sus mecanismos de transformación de energía lumínica en química.

De manera análoga a como plantea el enfoque de la respiración celular, Salinas (2020) concibe también para la enseñanza de la fotosíntesis procesos que supongan un aprendizaje cooperativo. En este sentido (Alzate, 2021) propone la huerta escolar como escenario que posibilita la observación, la experimentación, las construcciones de explicaciones, la problematización del fenómeno crecimiento de manera in situ, el dialogo entre pares, las reflexiones propias de los estudiantes, la relación directa entre la teórica y la práctica, entre la planta y su ambiente a través las acciones diseñadas que favorezcan a los procesos de construcción de conocimiento en el aula, favoreciendo la relación entre el mundo macro y microscópico y el aprendizaje de conceptos como fotosíntesis o respiración celular.



### 2.3.5 Los contenidos metabólicos en los libros de texto

El análisis de los libros de texto nos muestra como los conceptos metabólicos se suelen tratar en dos momentos, en un primer tema dedicado a la organización celular, en el que se abordan de un modo muy generalista todos los procesos y en un segundo momento donde se trata el tema de la nutrición tanto en animales como en plantas, siendo en este momento donde se producen las diferencias más importantes entre unos libros y otros a la hora de tratar el metabolismo, debido probablemente a la diversidad de intereses de los diferentes autores.

Aclarar que este apartado es de una importancia significativa, dado que a partir del conocimiento científico recogido en estos libros se obtendrá; lo que posteriormente se denominará la “Red de la Ciencia”, recurso para el posterior análisis cualitativo de las Redes Asociativas de Neurocognición en nuestros participantes.

En nuestro caso se han estudiado las editoriales más habituales: Anaya, Bruño, Editex, McGraw-Hill, Oxford, Santillana, SM, Vicens Vives.

#### 2.3.5.1 El concepto de Metabolismo

La definición de metabolismo aparece en todas las editoriales salvo en Santillana, en la que, aunque se trata en varios momentos el concepto, no llega a producirse una definición como tal del mismo. En el resto de los libros de texto estudiados, la definición tiene como factor común que son un conjunto de reacciones químicas, pero a partir de aquí aparecen pequeños matices.

Así por ejemplo Editex y SM, definen el metabolismo como conjunto de reacciones químicas que tienen lugar en la célula, es decir, especifican el lugar

dentro de los organismos en los que se producen estos procesos químicos, pero sin señalar cómo afectan dichas reacciones al conjunto del ser vivo, de la siguiente forma:

“La actividad de una célula tiene como base las reacciones fisicoquímicas que tienen lugar en su interior. Este conjunto de reacciones constituye el metabolismo celular” (López et al., 2008, p.145).

O también: “Conjunto de reacciones químicas que suceden en el interior de las células” (Pedrinaci et al., 2015, p.36).

Posteriormente amplían los dos en la misma línea aclarando que existen dos tipos de procesos en función de su finalidad:

“Existen dos grandes conjuntos de reacciones metabólicas: (1) Aquellas cuya finalidad es la obtención de energía útil para la célula a partir de los nutrientes o catabolismo. (2) Las que servirán a la célula para fabricar moléculas propias o anabolismo” (López et al., 2008, p.145).

“En el metabolismo interactúan dos tipos de procesos: (1) Anabolismo, procesos que participan en la síntesis de moléculas complejas a partir de otras más sencillas (2) Catabolismo, procesos cuyo objeto es la degradación de los compuestos orgánicos en compuestos sencillos” (Pedrinaci et al., 2015, p.36).

En ambos casos se observa cómo la definición de metabolismo queda muy alejada de los conceptos cotidianos que puede conocer el alumno. En esta misma línea encontramos a la editorial Bruño, que no solo presenta al metabolismo como algo casi ininteligible y apartado del mundo macroscópico,

sino que, además, señala a la obtención de energía como la función primordial del Metabolismo, olvidando los procesos biosintéticos.

“La obtención de la energía, ya sea de la luz o de los alimentos, y su utilización se consigue mediante un complejo esquema de reacciones químicas, catalizadas por enzimas, que constituyen el metabolismo” (Panadero et al., 2015).

Aunque más adelante añade:

“...las reacciones del metabolismo son catalizadas por enzimas y se pueden dividir en dos grandes grupos: catabolismo y anabolismo”.

Por otro lado, Bruño es la única editorial que menciona al autor material de estos procesos bioquímicos que son las enzimas.

Afortunadamente, el resto de editoriales estudiadas, sí que indican que el metabolismo implica un intercambio/transformación/obtención de materia y energía que se produce a nivel celular, pero que es necesario para que el organismo lleve a cabo sus funciones vitales. Este es el caso de Anaya y McGraw:

“El metabolismo es el conjunto de reacciones químicas que se producen en el interior de las células y que tiene como objetivos: sintetizar sustancias que la célula necesita para crecer, renovar estructuras y obtener energía para realizar sus procesos vitales”. Anaya (Plaza et al., 2015, p.36).

Y: “El metabolismo es el conjunto de reacciones químicas que permite a la célula convertir los nutrientes en materia prima para la propia célula y

obtener la energía necesaria para las actividades vitales”. McGraw-Hill (Rey et al., 2017, p.36).

Dentro de las funciones vitales, el metabolismo es una parte primordial de los procesos nutritivos de los seres vivos, por lo que algunas editoriales también presentan esta relación entre ambos conceptos. Así, por ejemplo, McGraw-Hill hace una breve definición inicial de metabolismo en función del proceso de nutrición de la siguiente manera:

“El conjunto de reacciones químicas que tiene lugar en las células con el objetivo de completar su función de nutrición se denomina metabolismo celular”(Rey et al., 2017, p. 6).

Vicens Vives, también define el metabolismo en función del proceso de la Nutrición, poniendo mayor énfasis en la producción de materia propia. Más adelante, establece los tipos de metabolismo y cuando habla del catabolismo es cuando trata el proceso de obtención de energía:

“El conjunto de reacciones químicas mediante las que el organismo utiliza la materia que ha incorporado, constituye el metabolismo. Este proceso forma parte de la función de nutrición” (Torres et al., 2016 p.4).

Y Catabolismo: “Conjunto de reacciones mediante las cuales moléculas complejas se transforman en otras más sencillas liberando la energía que tenían acumulada en sus enlaces” (Torres et al., 2016 p.35).

En esa línea, Oxford, aunque muy brevemente, define el metabolismo en función del proceso de nutrición, pero incluye el matiz de intercambio, de flujo de materia y energía entre los organismos y el medio que les rodea, lo cual nos

podía acercar el concepto de metabolismo al nivel de ecosistemas, es pues la única de las editoriales que permite globalizar el concepto, lo que faculta conectar completamente los mundos micro y macroscópico, como se puede advertir en el siguiente párrafo:

“La nutrición es la facultad de intercambiar materia y energía con el medio mediante un conjunto de reacciones químicas específicas que reciben el nombre de Metabolismo” (López et al., 2015, p.150).

Santillana es la editorial que menos habla del concepto de metabolismo y únicamente lo utiliza en el bloque de nutrición de plantas para presentar el metabolismo secundario de las mismas, en dicha definición hace hincapié en los dos tipos de procesos que constituyen el metabolismo, anabolismo y catabolismo:

Un conjunto de reacciones es de síntesis y transformación de compuestos (anabolismo) y sirven para reponer y fabricar los componentes celulares que requieren los tejidos en crecimiento. Otras reacciones son de degradación (catabolismo) y sirven para obtener la energía necesaria; es el caso de la respiración celular que se realiza en las mitocondrias (Grence et al., 2015, p.253).

En líneas generales se puede apuntar que en los libros de texto el metabolismo es considerado como un proceso incluido dentro de la función de nutrición, en el que mediante un conjunto de reacciones químicas que tienen lugar en el interior de las células, se producen materia propia (anabolismo) y energía para el resto de procesos (catabolismo).

### 2.3.5.2 El concepto de Respiración Celular

El concepto de respiración celular se trata en todos los libros de texto en el bloque de organización celular y de nutrición animal. Siendo muy pocas editoriales las que lo tratan en el bloque de nutrición vegetal.

Vicens Vives es la editorial que más profundamente trata el proceso de respiración celular, sobre todo porque insiste en que es un proceso que se da en todos los organismos y porque señala que el proceso no solo ocurre en la mitocondria, sino que parte de las reacciones se producen fuera de la misma. La primera definición que encontramos relaciona la nutrición con la obtención de energía mediante la respiración celular:

“...degradación de nutrientes para obtener la energía necesaria para realizar las actividades vitales, y que se almacena en forma de ATP. Incluye diferentes etapas que se realizan en el citosol y en la mitocondria”. (Torres et al., 2016 p.35).

En el tema dedicado a la nutrición de las plantas vuelven a insistir en la definición de Respiración Celular lo que no es común en libros de texto:

“...proceso de degradación de las moléculas orgánicas, o rotura de los enlaces covalentes que poseen, para liberar la energía almacenada en ellos y transformarla en un tipo de energía utilizable por las células, ATP” (Torres et al., 2016 p.132).

Más adelante relaciona la respiración con la fotosíntesis, lo cual es novedoso frente al resto de editoriales, facilitando este hecho la comprensión global de los fenómenos metabólicos y su extensión al nivel de ecosistema:

Mediante la respiración celular, los glúcidos sintetizados en la fotosíntesis se oxidan y se transforman de nuevo en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, que salen al exterior, y en energía, que se usa para realizar distintas funciones, como sintetizar moléculas propias, crecer o reproducirse, (Torres et al., 2016 p.142).

Editex no habla específicamente de la respiración celular, aunque ahonda en las rutas metabólicas implicadas en la misma, glucólisis, ciclo de Krebs o cadena de transporte electrónico, siguiendo una estructura parecida a la que presentan los tradicionales manuales de bioquímica (López et al., 2008, p.147).

Anaya utiliza una definición más bioquímica al hablar de reacciones redox y oxidación completa de la materia orgánica, en cambio no relaciona explícitamente el proceso metabólico con los procesos nutritivos, ni por panto con el mundo macroscópico. Posteriormente realiza una explicación de las rutas metabólicas que constituyen la respiración celular:

La respiración celular es la oxidación completa de una molécula de glucosa (materia orgánica), que se transforma, en presencia de oxígeno en varias moléculas (inorgánicas) de CO<sub>2</sub> y agua. En el proceso se libera energía para sintetizar 38 moléculas de ATP (...) se trata de un proceso redox en el que la molécula de glucosa se oxida hasta dióxido de carbono, y el oxígeno se reduce a moléculas de agua (Plaza et al., 2018, p.38).

En una línea más bioquímica como la editorial anterior se manifiesta SM, que sin embargo, hace énfasis en la necesidad de que el proceso se produzca en presencia de oxígeno y menciona más adelante, aunque de manera muy sutil que la energía liberada en las oxidaciones se emplea para producir

ATP, así mismo, presenta una primicia con respecto a otras editoriales al mencionar que se produce en las mitocondrias en el dominio eucariota, sin embargo, no menciona nada de los otros dos dominios: “En presencia de oxígeno, condiciones aerobias, la oxidación de materia orgánica se completa hasta producir CO<sub>2</sub>. Este proceso se denomina respiración celular y en las células eucariotas sucede en las mitocondrias” (Pedrinaci et al., 2015, p.35).

McGrawHill presenta una definición escueta, clara y concisa del proceso bioquímico, para posteriormente describir muy tenuemente las vías implicadas:

“La respiración celular es un proceso catabólico en el cual se produce la degradación completa de la materia orgánica a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, en presencia de O<sub>2</sub>, con la consiguiente liberación de energía” (Rey et al., 2017, p. 40-41).

Oxford presenta una definición pobre del término, de hecho, se fija más en el lugar en que se produce dentro de la célula, la mitocondria, que en el proceso bioquímico o nutricional, aunque indica que se produce para obtener energía mediante la oxidación de la materia:

“En las mitocondrias se realiza la respiración celular aerobia, proceso mediante el cual se obtiene energía a partir de la oxidación de los combustibles orgánicos” (López et al., 2015, p.182).

Además, más adelante señala que es un proceso catabólico, pero indica que se produce en todos los animales obviando el resto de seres vivos, lo que puede inducir errores conceptuales posteriormente:

Es el conjunto de reacciones químicas que permite la obtención de energía y que tiene lugar en el interior de las células. Este proceso es común a



todos los animales y se produce a partir del catabolismo de moléculas complejas con la participación del oxígeno (López et al., 2015, p.326).

Santillana finalmente, a igual modo que con el concepto de metabolismo, hace con el de respiración celular, tratándolo de pasada, tanto en el tema de organización celular como en los de nutrición de plantas y de animales:

“...producción de energía a partir de la oxidación de la materia orgánica” (Grence et al., 2015, p.153).

Aunque en el bloque de plantas, como se comentó en el epígrafe anterior, se habla tanto de la función de la respiración, obtener energía, como del lugar de la célula vegetal donde se produce, mitocondrias.

“Otras reacciones son de degradación (catabolismo) y sirven para obtener la energía necesaria; es el caso de la respiración celular que se realiza en las mitocondrias” (Grence et al., 2015, p.253).

En definitiva, la Respiración celular es tratada en los libros de texto, en base a tres líneas, bien como proceso nutricional, bien como proceso de oxidación de la materia orgánica, o bien como reacciones que se localizan en una zona específica de la célula, pero todas teniendo como denominador común la obtención de energía.

Claramente, el tratamiento del proceso por parte de algunas editoriales puede ocasionar errores conceptuales al alumnado, fundamentalmente a la hora de estudiar el metabolismo vegetal y las relaciones entre la respiración celular y la fotosíntesis, tanto a nivel funcional como de ubicación de las reacciones bioquímicas.

### 2.3.5.3 El concepto de Fermentación

El concepto de fermentación es el peor tratado por los libros de texto, hasta el punto de que algunas editoriales ni lo mencionan. En esta línea se encuentra SM que solo menciona la fermentación en una actividad resuelta tipo informe sobre el metabolismo de levaduras dentro del bloque de diversidad. En él define la fermentación en términos de eficiencia energética tomando como base la respiración celular de la siguiente forma:

“La fermentación es menos eficiente que la respiración y con iguales nutrientes se obtiene mucha menos energía” (Pedrinaci et al., 2015, p.103).

El concepto de fermentación como hemos visto es polisémico y Editex se fija fundamentalmente en la acepción más industrial del mismo definiendo el proceso en función de los productos que genera, señalando sin embargo, la importancia de dichos procesos para evitar el colapso de la ruta glucolítica de la siguiente manera:

“En condiciones anaerobias, el piruvato se transforma en etanol — fermentación alcohólica— o en ácido láctico —fermentación láctica— para que la glucólisis pueda seguir produciendo ATP” (López et al., 2008, p.147).

Otras editoriales como SM, presentan una definición de fermentación en la que tratan de presentarla en función de dos acepciones comentadas en epígrafes anteriores: la bioquímica y la industrial, volviéndose en este caso muy compleja y difícil de entender:

En ausencia de oxígeno, como son las condiciones anaerobias, este compuesto orgánico de 3C<sup>3</sup> no puede ser completamente oxidado a dióxido de carbono. El proceso en este caso se denomina fermentación y origina como producto final diversas sustancias orgánicas. Por ejemplo el etanol que producen las levaduras al fermentar el azúcar de las uvas o el ácido láctico (Pedrinaci et al., 2015, p.34).

En la línea puramente bioquímica McGraw-Hill presenta una de las definiciones de fermentación más sencillas y completas de los libros de texto estudiados. Así mismo, incluye dentro del proceso fermentativo la ruta glucolítica, dándole sentido al proceso.

La fermentación es un proceso catabólico anaerobio que ocurre en el hialoplasma y en el que se produce una degradación de la materia orgánica a biomoléculas orgánicas más simples, con el fin de obtener energía.

La fermentación ocurre en dos etapas: La primera es la glucólisis, con la obtención de ácido pirúvico; la segunda etapa es la reducción del ácido pirúvico o una molécula orgánica, por ejemplo a ácido láctico o a etanol (Rey et al., 2017, p.41).

---

<sup>3</sup> Aunque el compuesto de 3 átomos de carbono al que se refiere la definición es el piruvato, no es mencionado en ningún momento en el libro de texto. De hecho, la glucólisis la define como la transformación de la glucosa en moléculas más sencillas de 3 átomos de carbono (p.34).

Sin embargo, la constante en los libros de texto es la poca presencia del concepto en sus líneas, así, por ejemplo, Oxford, trata someramente la fermentación cuando realiza una muy breve definición del catabolismo.

“Catabolismo. De moléculas complejas se obtienen otras más simples y energía. (...) En la fermentación, las moléculas obtenidas están menos degradadas y son reacciones menos rentables energéticamente que la respiración aerobia. Se da en bacterias y levaduras” (López et al., 2015, p.182).

La definición no solo es pobre, ya que nuevamente la presenta por comparación con la Respiración celular en función de la eficiencia energética de la misma, sino que además parece que es un proceso que se produce solo en organismos unicelulares.

En definitiva, en los libros de texto la fermentación se presenta como un proceso energético menos rentable que la respiración celular y que “sirve” para obtener productos relacionados con la biotecnología alimentaria.

#### 2.3.5.4 El concepto de Fotosíntesis

La fotosíntesis al contrario que ocurría con la fermentación, es el concepto que más profusamente se trata en los libros de texto, dedicándole todos ellos un apartado especial en los temas de nutrición vegetal, sin duda debido a que aparece como uno de los contenidos esenciales en el currículo oficial (Decreto 98/2016). Sin embargo, la presentación que hacen de la misma las diferentes editoriales es muy dispar, yendo desde una sencilla transformación de materia inorgánica en orgánica hasta procesos muy complejos que implican la obtención de energía y poder reductor para obtener

dicha materia orgánica. Muestra de lo dicho sirvan lo mostrado por las editoriales Editex y SM.

Editex define de manera muy simple la fotosíntesis en el bloque de nutrición vegetal y lo hace, por tanto, como proceso de nutrición autótrofa. La ventaja de esta primera aproximación es que utiliza el lenguaje que el alumno ha ido escuchando a lo largo de su etapa escolar, acerca del proceso, esto es, la transformación de la materia inorgánica (el CO<sub>2</sub> atmosférico), en materia orgánica (glúcidos) por la intervención de la luz. Posteriormente, profundiza en el concepto desarrollando el proceso completo y explicando las dos fases de la misma:

“La fotosíntesis es un proceso de nutrición autótrofa en el que, gracias a la energía de la luz, la materia inorgánica (CO<sub>2</sub>) se transforma en biomoléculas (glúcidos)” (López et al., 2008).

SM sin embargo, presenta una definición de fotosíntesis compleja, difícil de digerir por el alumnado, ya que requiere de conocimientos más avanzados de química y que se centra en las dos fases de la misma:

La fotosíntesis tiene lugar en los cloroplastos y se desarrolla en dos fases: (a) fase luminosa (...) la energía de la luz solar captada por la clorofila se utiliza para sintetizar ATP, romper las moléculas de agua y obtener hidrógeno(...) y oxígeno (b) fase oscura (...) tanto la energía almacenada en el ATP como el hidrógeno se utilizan para transformar la materia inorgánica en orgánica (Pedrinaci et al., 2015, p.36).

Siguiendo la línea bioquímica de la editorial, McGraw-Hill muestra una definición muy sencilla pero bastante completa del proceso, en la que recuerda que la fotosíntesis es un proceso metabólico:

“La fotosíntesis oxigénica se denomina así porque desprende oxígeno. (...) La fotosíntesis es el proceso anabólico mediante el cual moléculas inorgánicas se combinan para formar compuestos orgánicos simples, utilizando para ello la energía de la luz solar” (Rey et al., 2017, p.130).

La transformación de la energía luminosa en energía química, como base del proceso fotosintético no es comúnmente empleada por las editoriales, honrosas excepciones la constituyen Santillana y Oxford.

Por un lado, Santillana pone su énfasis en la transformación energética que se produce en el proceso fotosintético, aunque posteriormente recuerda la necesidad de agua y de CO<sub>2</sub> como materia inorgánica para la producción de glúcidos en los cloroplastos:

La fotosíntesis es un proceso mediante el que las plantas convierten la energía luminosa en energía química, que es utilizada para la síntesis de nutrientes orgánicos. Se lleva a cabo en cloroplastos (...) se requiere agua y dióxido de carbono. (...) Los productos finales de la fotosíntesis, principalmente azúcares y polisacáridos van a constituir la savia elaborada (Grence et al., 2015, p.250).

Por otro, Oxford, aunque realiza una primera definición muy general que recuerda al alumnado toda su trayectoria académica como sucedía con Editex:

“La fotosíntesis es el proceso anabólico mediante el cual las plantas transforman la materia inorgánica en materia orgánica utilizando la energía luminosa” (López et al., 2015, p.278).

Posteriormente profundiza en el término y no solo enfatiza el proceso de transformación energética, sino que marca la importancia capital del proceso para la vida en la Tierra ya que (1) sintetiza materia orgánica a partir del CO<sub>2</sub> atmosférico, (2) transforma la energía solar en energía química y (3) libera oxígeno a la atmósfera porque es un producto de la fotosíntesis. Evidentemente otro de los puntos más interesantes de la afirmación es que no considera el oxígeno como producto de deshecho del proceso metabólico sino un bien para los ecosistemas terrestres. En esta línea finaliza con una definición muy interesante:

“La fotosíntesis es un proceso biosintético fundamental para la vida en nuestro planeta por ser el responsable de la incorporación de la energía luminosa a los procesos vitales y de la transformación de la materia inorgánica en orgánica” (López et al., 2015, p.279).

La fotosíntesis pues, es tratada en general como un proceso anabólico, propio de las plantas, en el que se transforma la materia inorgánica en orgánica, gracias a la energía proveniente de la luz solar y que aporta el oxígeno necesario para la supervivencia de los ecosistemas planetarios, sin embargo, la relación que presenta con la respiración celular en general es deficiente, lo que puede ocasionar errores en la concepción global de ambas y por tanto en el ciclo de la materia.

### 2.3.6 Los contenidos sobre el metabolismo en el currículo

Teniendo en cuenta el Decreto 98/2016, de 5 de julio, por el que se establecen la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato para la Comunidad Autónoma de Extremadura, como trasposición del Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato (Real Decreto 1105/2014, de 26 de Diciembre, por el que se establece el Currículo Básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato, 2015), encontramos que uno de los objetivos de la asignatura de Biología y Geología de 1º de bachillerato es el estudio de los niveles de organización de los seres vivos su composición química, organización celular y estudio de los tejidos animales y vegetales.

Dicho decreto se encuentra estructurado en 9 bloques de contenidos de los cuales los 6 primeros están dedicados a la materia de Biología. Los temas relacionados con el metabolismo, aunque no se expliciten, aparecen de forma transversal en todos esos bloques, y más específicamente en los contenidos que se recogen a continuación en los bloques 1, 2, 5 y 6.

En el bloque 1 se tratan los conceptos más generales de la nutrición y el metabolismo, la relación que existe entre ambos conceptos y se realiza la división entre procesos de construcción de materia propia o procesos anabólicos, como es el caso de la fotosíntesis y procesos destructivos para la obtención de la energía o reacciones catabólicas como son la fermentación y la respiración celular.



Bloque 1. Los seres vivos: composición y función		
Contenidos	Criterios evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Características de los seres vivos y los niveles de organización.	1. Especificar las características que definen a los seres vivos.	1.1. Describe las características que definen a los seres vivos: funciones de nutrición, relación y reproducción.

En el Bloque 2, se tratan los conceptos relacionados con las estructuras celulares y orgánulos donde se producen las diferentes reacciones metabólicas.

Bloque 2. La organización celular		
Contenidos	Criterios evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Modelos de organización celular: célula procariota y eucariota. Célula animal y célula vegetal.	1. Distinguir una célula procariota de una eucariota y una célula animal de una vegetal, analizando sus semejanzas y diferencias.	1.1. Interpreta la célula como una unidad estructural, funcional y genética de los seres vivos.
		1.2. Perfila células procariotas y eucariotas y nombra sus estructuras.
Estructura y función de los orgánulos celulares.	2. Identificar los orgánulos celulares, describiendo su estructura y función.	2.1. Representa esquemáticamente los orgánulos celulares, asociando cada orgánulo con su función o funciones.

En este bloque, aunque se estudian los procesos fundamentales en todos los seres vivos, por razones didácticas se tratan fundamentalmente a nivel de células eucariotas, presentado la estructura y función de las mitocondrias y

cloroplastos y ya de modo muy fútil, los fenómenos que acontecen en el citoplasma celular.

Las reacciones metabólicas que acaecen en organismos procariotas, son poco desarrolladas, limitándose en muchas ocasiones a los procesos fermentativos, lo que podría llegar a generar la idea que los procesos respiratorios y fotosintéticos solo se producen en eucariotas.

En el bloque 5 se profundiza en la nutrición vegetal y el carácter autótrofo de la misma y esencialmente en la fotosíntesis. Se centra en el proceso bioquímico en eucariotas por lo que se estudia la clorofila y el cloroplasto como pigmento y orgánulo imprescindibles en el proceso respectivamente. Se le da mucha importancia a la producción de materia orgánica pero también de oxígeno, para el mantenimiento de la vida en nuestro planeta.

Bloque 5. Las plantas: sus funciones, y adaptaciones al medio		
Contenidos	Criterios evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
La fotosíntesis.	5. Comprender las fases de la fotosíntesis, los factores que la afectan y su importancia biológica.	5.1. Detalla los principales hechos que ocurren durante cada una de las fases de la fotosíntesis asociando, a nivel de orgánulo, dónde se producen.  5.2. Argumenta y precisa la importancia de la fotosíntesis como proceso de biosíntesis, imprescindible para el mantenimiento de la vida en la Tierra.

Nuevamente, puede llegar a parecer que solo las plantas superiores son capaces de realizar la fotosíntesis y que, por tanto, son las que aportan sus productos y subproductos al planeta, al no estudiarse los organismos unicelulares fotosintéticos. Se echa de menos en este bloque que no se trate con más profundidad el tema de la respiración celular, lo que también puede inducir a muchos de los preconceptos señalados para la respiración en plantas y su relación con la fotosíntesis.

En el bloque 6 se ahonda en la nutrición animal y se trata especialmente la respiración celular incidiendo en la diferencia entre este proceso y los procesos de ventilación e intercambio gaseoso. Sin embargo, el concepto de respiración celular queda en general fuera de contexto y se “pierde” entre todos los sistemas respiratorios que se estudian dentro del mundo animal.

Bloque 6. Los animales: sus funciones, y adaptaciones al medio		
Contenidos	Criterios evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Funciones de nutrición en los animales. El transporte de gases y la respiración. La excreción.	1. Comprender los conceptos de nutrición heterótrofa y de alimentación.	1.1. Argumenta las diferencias más significativas entre los conceptos de nutrición y alimentación.
		1.2. Conoce las características de la nutrición heterótrofa, distinguiendo los tipos principales.
	8. Distinguir respiración celular de respiración (ventilación, intercambio gaseoso).	8.1. Diferencia respiración celular y respiración, explicando el significado biológico de la respiración celular.

El desarrollo normativo de la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre (LOMLOE) por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo de Educación generó la reciente aprobación del Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato.

Este RD permite esbozar lo que puede ser el tratamiento de los temas de metabolismo en el bachillerato, encontrando que ya en 2º adquiere un papel más importante, al adquirir la categoría de bloque (bloque D. Metabolismo) ampliando los conceptos a estudiar tanto del catabolismo (beta-oxidación de ácidos grasos) como del anabolismo (síntesis de aminoácidos o ácidos grasos).

Para primero, el Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, establece para la asignatura de Biología, Geología y Ciencias Ambientales, siete bloques de contenido. De ellos, los bloques E y F en los que se tratan los procesos de nutrición-metabolismo en plantas y animales, se corresponderían con los bloques 5 y 6 respectivamente. El bloque F que trataría el mundo de la microbiología y en el que se encuentra un apartado específico para el metabolismo microbiano, donde se resalta la importancia de las bacterias y su metabolismo en los ciclos biogeoquímicos como el del nitrógeno o el del carbono. Sin embargo, la verdadera importancia del metabolismo a nivel global, se va a estudiar en un nuevo bloque denominado de Ecología y Sostenibilidad (bloque B). En él, se trabajarán los flujos de energía y materia a nivel de ecosistema. En líneas generales, parece que se apostará por la enseñanza del metabolismo tanto a nivel micro como macroscópico.

La trasposición de dicho RD a la legislación educativa extremeña, a través del DECRETO 109/2022, de 22 de agosto, por el que se establecen la ordenación y el currículo del Bachillerato para la Comunidad Autónoma de Extremadura, mantiene las proposiciones realizadas por el Real Decreto aunque varía la numeración de los bloques, pasando en 2º de ser el bloque de metabolismo el “D” al bloque “C”, aunque los saberes básicos se mantienen, no dando cabida al concepto de gluconeogénesis.

También en primero se mantiene los saberes básicos promulgados por el Real Decreto 243/2022, aunque la numeración de los bloques también cambia, pasando el bloque de Ecología y Sostenibilidad a ser el bloque D y los de nutrición animal y vegetal al F y G respectivamente y el de microbiología al H.

En cualquier caso, se recomienda abordar la materia de una manera práctica basada en la resolución de problemas y en la realización de proyectos e investigaciones, fomentando la colaboración y no solo el trabajo individual. Es decir, desde la legislación se promueve que la metodología didáctica que se utilice sea activa, donde se reconozca al alumnado como agente de su propio aprendizaje, con el planteamiento de tareas complejas en las que movilice los recursos y saberes necesarios para resolver dichos contextos, por lo que las propuestas que se desplieguen, lo hagan a partir de desafíos, problemas o escenarios reales locales y globales, que estén relacionados con los saberes básicos y que generen un interés sobre temas de actualidad.

## **2.4 Enseñanza y aprendizaje del Metabolismo II: metodologías**

El aprendizaje del metabolismo supone un problema de especial dificultad para el alumnado de 1º de Bachillerato. A la cantidad de nuevos conceptos y procesos que deben conocer, se le añade un no menos importante número de concepciones alternativas que han ido adquiriendo a lo largo de su proceso de aprendizaje. Estas ideas, van desde la interpretación de la Respiración Celular como un simple proceso de intercambio gaseoso, al entendimiento de la fotosíntesis como un proceso fragmentado en el que no existe una conexión entre sus partes, para finalizar con un desconocimiento prácticamente total de los procesos fermentativos (Salinas, 2020).

Actualmente, se están impulsando numerosas metodologías didácticas basadas en el trabajo por proyectos. Entre ellos destacan el “Aprendizaje basado en problemas” o “Aprendizaje y servicio”, la “Clase invertida” o la “Gamificación”. En el campo de la enseñanza de las ciencias, se han desarrollado nuevos marcos en los que confluyen distintas concepciones y prácticas, pero siempre dentro de una metodología de aprendizaje basada en la realización de “proyectos” como el “Aprendizaje por indagación”, el “Aprendizaje basado en la modelización”, “Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Matemática (STEM)”. Es decir, se están implementando una extensa batería de propuestas metodológicas que aunque difieren en la definición de contexto idóneo, en los objetivos de aprendizaje o en la forma de concebir y aplicar un proceso de investigación, tienen como finalidad transformar la realidad educativa (Sanmartí & Márquez, 2017). A pesar de las diferencias expuestas, para Sanmartí y Márquez, todas estas metodologías presentan rasgos comunes:

- a) Parten del estudio de alguna situación o problema contextualizado.
- b) Se “investiga” para dar respuesta a preguntas, dudas o retos, iniciales o que van surgiendo a lo largo de la realización del proyecto.
- c) Se aprenden, a partir del contexto y en respuesta a preguntas, conocimientos clave y transferibles a la interpretación y actuación en otros contextos.
- d) Se incluyen contenidos y evaluaciones auténticas, con objetivos didácticos específicos.
- e) Se da a los alumnos la oportunidad de trabajar relativamente autónomamente por periodos de tiempo extensos.
- f) El profesor facilita, pero no dirige.
- g) Se trabaja en grupos heterogéneos, y se promueve el aprendizaje cooperativo y la reflexión.
- h) Se utilizan herramientas para aprender de manera interactiva, promoviendo el uso de tecnologías digitales (cognitivas).
- i) Se finaliza con alguna acción en el entorno que planifican los propios estudiantes.

Todas estas metodologías se engloban dentro de lo que se ha denominado aprendizaje activo, ya que, en él, se busca la mayor implicación y participación del estudiante, siendo este el protagonista del mismo. Entre las estrategias para el aprendizaje activo, se ubican las de aprendizaje cooperativo y colaborativo.

Las diferencias entre ambos han sido analizadas por diferentes autores, y no hay un acuerdo claro. Duran & Monereo (2012), señalan que el aprendizaje colaborativo se caracteriza por un formato menos estructurado y más simétrico que el cooperativo, en el que los trabajos no son definidos por el profesor sino por los alumnos; donde la responsabilidad es individual y grupal, mientras que en el cooperativo es proporcional entre los componentes del grupo y en el que el trabajo es conjunto, mientras que en el cooperativo se produce una división del trabajo.

Dentro de nuestro trabajo de investigación, el proyecto que presentamos tiene un poco de ambas metodologías por lo que en este estudio optaremos por denominarlos de forma común, aprendizaje colaborativo. En definitiva, la idea que cohesiona ambas estrategias y por la que nos regimos es que la construcción de conocimiento se produce a través de la interacción social.

#### 2.4.1 Aprendizaje basado en proyectos

El aprendizaje basado en proyectos es una metodología basada en la investigación – acción, cuyo objetivo es organizar los contenidos curriculares bajo un enfoque globalizador y significativo en la que los estudiantes planean, implementan y evalúan proyectos que tienen aplicación en el mundo real más allá del aula de clase (Blank, 1997; Muñoz & Díaz, 2009). Propuesto inicialmente como tal por Kilpatrick (1918), parte de la necesidad filosófica de un propósito para que se produzca aprendizaje (Larmer & Mergendoller, 2011).

Para Morsund (1998), en un aprendizaje basado en proyectos los estudiantes trabajan colaborativamente para desarrollar un producto y, durante este desarrollo, surgen varios caminos de aprendizaje y cada estudiante se hace



responsable de su aprendizaje, que se construye colectiva y contextualmente (citado en Pereira et al., 2018). De estas definiciones iniciales se ha evolucionado a nuevas formulaciones de la metodología (Sanmartí & Márquez, 2017), y en el momento actual se suele entender como aquellos proyectos en los que el propósito de elaborar un producto o resolver un problema actúa de motor para el aprendizaje, que adquiere un cariz instrumental en la experiencia del alumno (Larmer et al., 2015).

La dinámica de esta metodología se basa en la elaboración de preguntas, debates, plan de trabajo, prueba de hipótesis, recolección y análisis de datos, confirmación o refutación de hipótesis, intercambio de información sobre los proyectos y propuesta de nuevas preguntas. Son ciclos continuos e interconectados que conducen al desarrollo del producto final.

En el aprendizaje basado en proyectos el docente actúa como facilitador, ofreciendo a los alumnos recursos y asesoría a medida que realizan sus investigaciones, los asiste en la definición de proyectos coherentes con los objetivos del currículo y contextualizados con su vida cotidiana. Debe brindar apoyo para el aprendizaje y promover oportunidades frecuentes de evaluación y autoevaluación para que el proceso sea lo más importante y no solo el producto final desarrollado (Barron et al., 1998). Este modelo de aprendizaje por todo ello permite desarrollar habilidades para la toma de decisiones, habilidades de carácter creativo y habilidades para resolver problemas (Cook et al., 2012).

Para Pereira et al. (2018) es una estrategia eficiente en la enseñanza de la Bioquímica y especialmente del metabolismo para los estudiantes de la

Licenciatura en Ciencias Biológicas, futuros docentes; ya que es capaz de unir las tres dimensiones para el desarrollo de competencias: la construcción del conocimiento, el desarrollo de habilidades como el trabajo en equipo, la comunicación oral y escrita, o la utilización de herramientas digitales, así como la demostración de actitudes mediante el uso de la Bioquímica en la prevención o solución de desórdenes metabólicos.

#### 2.4.2 Aprendizaje basado en problemas

El aprendizaje basado en problemas o problem based learning (PBL) tiene sus orígenes en la Universidad McMaster, en Hamilton (Canadá), donde se implementó a mediados de los años 60, para solventar un problema de salud de la zona.

Es un enfoque de enseñanza-aprendizaje con una base constructivista que se caracteriza por el trabajo en equipo y el uso de problemas reales como estímulo para desarrollar habilidades de solución de problemas y adquirir conocimientos específicos (McGrath, 2002).

Es un método mediante el cual los alumnos construyen su conocimiento sobre la base de problemas de la vida real. El problema no es más que una excusa para la construcción del conocimiento, es un conjunto de sucesos preparado por docentes expertos para iniciar el proceso de aprendizaje que debe presentar dos características esenciales: la familiaridad y la contextualización que junto al pensamiento cotidiano son ingredientes de la motivación (Font, 2004).

Gil-Galván (2018) señala como características principales de este tipo de enseñanza las siguientes:

- Fomentan el papel protagonista del alumno en el proceso de enseñanza-aprendizaje, implicándolo activamente en su aprendizaje y en la autorregulación del mismo.
- Potencian el desarrollo y optimización de competencias tendentes a la profesionalización del alumnado.
- El papel del docente es el de guía que orienta y estimula el aprendizaje del alumno.

García et al. (2021) utilizan el aprendizaje basado en problemas con alumnos universitarios de los grados de Biología y Bioquímica, como estrategia para potenciar el aprendizaje del metabolismo del glucógeno, encontrando que aumentaban notablemente las calificaciones positivas de los alumnos.

#### 2.4.3 Aprendizaje colaborativo

El aprendizaje colaborativo es definido por Johnson et al. (1999) como el uso instruccional de pequeños grupos de tal forma que los estudiantes trabajen juntos para maximizar su propio aprendizaje y el de los demás.

Esta idea inicial de aprendizaje mediante un “trabajo juntos” Calzadilla (2002), la va a denominar como un proceso de construcción social del aprendizaje que va a ser potenciada por otra serie de cualidades del trabajo en equipo, de esta manera lo define como proceso de socioconstrucción del conocimiento que permite conocer las diferentes configuraciones potenciales que posibiliten afrontar un problema, fomentar la tolerancia a la diversidad y potenciar habilidades que diseñen una alternativa conjunta.

Siguiendo los principios de la neuroeducación Román (2021) le da una vuelta de tuerca más definiendo este tipo de aprendizaje como el desarrollo de habilidades neurocognitivas individuales y grupales, a través de actividades didácticas de interacción social, que implican un trabajo en equipos pequeños, donde todos los miembros colaboran para alcanzar un objetivo común de aprendizaje.

El aprendizaje colaborativo trata de propiciar circunstancias que provoquen el desarrollo de habilidades tanto individuales como de grupales, desde el debate entre alumnos, siendo cada cual el responsable de su aprendizaje (Lucero, 2003). Onetti (2011) va más allá y señala que la responsabilidad en el aprendizaje es cosa del grupo que desempeña el trabajo propuesto. La idea que subyace es que, si los alumnos quieren triunfar como equipo, animarán a sus compañeros a hacerlo bien y les ayudarán a que así sea.

Es pues, una propuesta de enseñanza-aprendizaje basada en los conceptos de cooperación, trabajo en equipo, comunicación y responsabilidad, en el que se van a amplificar una serie de habilidades neurocognitivas, tanto a nivel individual como colectivo, debido a un procedimiento de interacción social.

No obstante, para que los grupos colaborativos sean eficaces, Johnson (1999) propone una serie de requerimientos:

a) Interdependencia positiva, esto es, que los alumnos sepan que los esfuerzos de cada uno benefician a todos.

b) Responsabilidad individual y grupal, que implica que cada uno debe ser responsable de su trabajo y no aprovecharse del de los demás.

c) Interacciones promotoras. El alumno debe promover el éxito de los compañeros, ayudándolos, compartiendo recursos, etc.

d) Desarrollo de las competencias de trabajo en equipo, es decir, aprender a ejercer un buen liderazgo o afrontar los conflictos entre otras.

e) Autoevaluación crítica del trabajo realizado en el seno del grupo, para determinar qué conductas se deben mantener y cuáles erradicar para alcanzar su objetivo final.

El aprendizaje colaborativo es una metodología que se ha mostrado eficaz como alternativa a la enseñanza tradicional en diversos estudios (Slavin, 2011), permitiendo además facilitar la alfabetización científica del alumnado y generar en los mismos un cúmulo de emociones positivas hacia el estudio y aprendizaje de las ciencias (Cubero et al., 2018; Rodas & Cubero, 2022).

Sin embargo, no hay que olvidar que todos estos procesos que implican un aprendizaje activo, presentan ciertos obstáculos como son la resistencia de los docentes a actuar como facilitadores o mediadores; la compleja organización del proceso de aprendizaje, especialmente cuando se relaciona con el proceso de evaluación; y la dificultad para cumplir con toda la programación del curso (Blumenfeld et al., 1991).

El aprendizaje colaborativo está dando muy buenos resultados en el aprendizaje de conceptos bioquímicos y de biología molecular. Souza-Júnior et al. (2015) proponen el trabajo a través de la plataforma moodle y encuentran

mayor satisfacción en el alumnado de secundaria y un incremento en el aprendizaje de contenidos. A nivel universitario, Magnarelli et al. (2009) proponen un estudio cualitativo en alumnos de Bioquímica clínica, encontrando que el trabajo colaborativo en pequeños grupos favorecía un aprendizaje significativo y un aumento del porcentaje de alumnos aprobados en la materia. Pereira & Campos (2021) formulan un proyecto interactivo para el aprendizaje del metabolismo con alumnos universitarios, en el que mediante el aprendizaje colaborativo logran resultados más positivos que con el proceso de enseñanza tradicional.

## **2.5 Acuaponía. Una metodología activa para la enseñanza científica del Metabolismo**

La palabra acuaponía es un anglicismo tomado del término inglés “aquaponics”, que procede de “aquaculture” (acuicultura) e “hydroponics” (hidroponía). Es una actividad que combina la acuicultura (cría de especies acuáticas) y la hidroponía (cultivo de plantas sin suelo, sobre soportes con soluciones acuosas de nutrientes) en un mismo sistema integrado y sostenible.

La acuicultura, según la FAO, es una actividad dirigida a producir y engordar organismos acuáticos en su medio. Sin embargo, la intensificación de dicha actividad representa una causa relevante de preocupación ambiental a nivel global, ya que implica la sobreexplotación de los recursos hídricos y terrestres, principales elementos utilizados en este tipo de producción pecuaria (Amirkolaie, 2011; Piedrahita, 2003) generando sus desechos graves impactos en los medios acuáticos (Crab et al., 2007; Tacon & Forster, 2003). Una de las opciones más aclamadas para reducir estos impactos, es la tecnología del Sistema de Recirculación de Aguas (SRA) que utiliza aproximadamente un 90% menos de agua que otros sistemas convencionales.

Por otro lado, la hidroponía se define como un conjunto de técnicas que permiten el cultivo de plantas en un medio libre de suelo. Está basada en la utilización de mínimo espacio, mínimo consumo de agua y máxima producción y calidad.

En los sistemas hidropónicos, el suministro de agua y de minerales se realiza mediante soluciones nutritivas con o sin un medio de cultivo (por ejemplo, lana de roca, turba, perlita, piedra pómez, fibra de coco, etc.). Se

pueden dividirse en sistemas abiertos, donde la solución nutritiva excedente no se recicla, y sistemas cerrados, donde el exceso de flujo de nutrientes de las raíces se recolecta y se recicla nuevamente al sistema (Maucieri et al., 2019).

De la confluencia de estas dos estrategias de producción y buscando la sostenibilidad y el respeto al medio ambiente surge la acuaponía. El origen de esta técnica parece remontarse a la antigua China, donde los agricultores a lo largo del río Nanxi, en la provincia de Zhejiang, usaban esta práctica para producir peces y cultivar arroz con los efluentes que provenían de ellos. Al parecer, situaban jaulas con patos sobre un tanque de peces, de tal forma que los excrementos y la comida no consumida por los animales de la granja, caían sobre dichos peces, siendo a su vez su alimento. La comida no procesada y los residuos de los peces seguían hacia el río donde eran consumidos por siluros, siendo utilizadas las aguas para regar los campos de arroz, aumentando la producción de los mismos (Jones, 2002).

El conocimiento de los pueblos indígenas sobre los ecosistemas generalmente ha dado como resultado a lo largo de la historia diversos paisajes agrícolas manejados para múltiples usos, lo que redundaba en la autosuficiencia alimentaria local (Altieri, 2004). De este modo, la siguiente referencia que podemos encontrar la hallamos en el Lago Tenochtitlan con las tradicionales “Chinampas” o balsas de madera recubiertas de tierra vegetal que se situaban en los lagos poco profundos donde se cultivaban flores y plantas y se pescaban los peces, y que tuvo su apogeo en el siglo XVI.

Sin embargo, se considera que los padres de la moderna acuaponía fueron John y Nancy Todd, que junto a William McLarney en 1969, fundan el

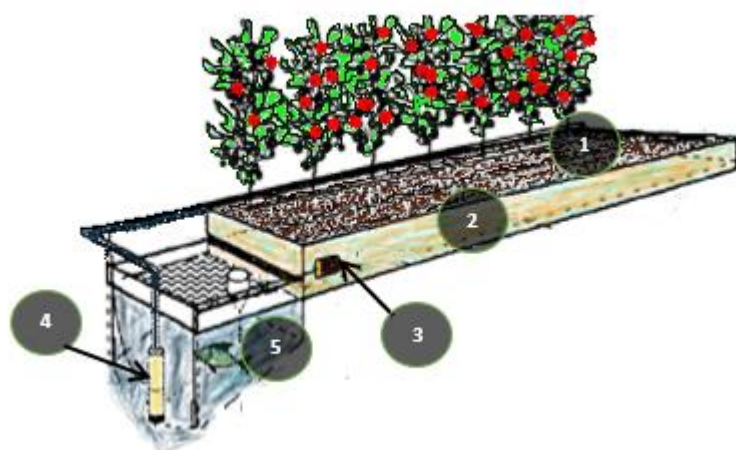


centro New Alchemy Institute donde se desarrolló la agricultura moderna orgánica y el concepto de acuicultura sostenible, aquí utilizando los mismos principios de diseño que se encuentran en la naturaleza construyen sus “living machines” que recreaban los ecosistemas acuáticos. Posteriormente, en los años 80 John y Nancy dejan New Alchemy y dan un giro radical, transformando los sistemas diseñados para producir alimentos en sistemas planteados para la eliminación de desechos (Harman & Dietrich, 2018).

También en los años 80 se crean los primeros sistemas acuapónicos modernos, empleando como sustrato para las plantas camas de arena, en ellos se utiliza por primera vez la tilapia azul (*Oreochromis aureus*) debido a su gran versatilidad (McMurtry & Sanders, 1988). En estos primeros equipos denominados sistemas integrados acuicultura-olericultura<sup>4</sup>, se producen tomates (*Lycopersicon esculentum*), guisantes (*Phaseolus vulgaris*) y pepinos (*Cucumis sativus*) (Ver figura MT10).

---

<sup>4</sup> La RAE no reconoce el vocablo olericultura, el cual sería una traducción literal del término anglosajón olericulture, que se refiere a la rama de la horticultura que estudia el cultivo de las plantas herbáceas que son utilizadas como alimento.



1. Cultivos de hortalizas
2. Cama de Arena
3. Aireador
4. Bomba de agua
5. Tanque de Peces

*Figura MT 10. Adaptación del Sistema Acuapónico planteado por McMurtry et al 1993. En dicho sistema se producían tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y tilapias (*Oreochromis aureus* L.).*

A lo largo de la siguiente década en diversos trabajos se sugiere la necesidad de la integración de la acuicultura con la agricultura, ya que, según los autores, dichos sistemas pueden reducir el requerimiento de agua para la producción de proteínas de calidad y productos vegetales frescos en relación con ambos sistemas de cultivo operados de forma independiente. Esto es debido a que los sistemas de co-cultivo de peces utilizan los subproductos nutritivos de la piscicultura como insumos directos para la producción de vegetales, reciclando constantemente la misma agua (McMurtry et al., 1993, 1997; Rakocy et al., 1992).

Se define pues la acuaponía como sistema de producción de alimentos que incluye la incorporación de dos o más componentes en un diseño basado en la recirculación de agua, en el que los excesos de alimento de los peces, así como sus productos de excreción son transformados en nutrientes gracias a la acción de bacterias nitrificantes y absorbidos por las plantas cultivadas hidropónicamente (García-Ulloa et al., 2005; Rakocy et al., 2010).

En definitiva, la acuaponía, presenta una serie de ventajas sobre los sistemas tradicionales de producción de alimentos ya que reduce los gastos operativos, tanto los costes del tratamiento de los efluentes de la acuicultura como los costes de las soluciones de nutrientes empleados en hidroponía, que supondrían considerar cada sistema (acuicultura e hidroponía) individualmente (Love et al., 2015).

Además no solo reduce la cantidad de agua empleada, sino también la cantidad de nitrógeno amoniacal en las descargas de efluentes, lo que permite abordar los objetivos de desarrollo sostenible, en particular para regiones áridas o áreas con suelos no cultivables (Goddek et al., 2019). Representa un ahorro en el proceso productivo, ya que la mayoría de los nutrientes para las hortalizas son producidos por los peces, en un mismo tiempo se obtienen productos animales y vegetales que pueden ser utilizados para consumo humano, disminuyendo significativamente el impacto al ambiente y optimizando recursos, tales como mano de obra, espacio físico, agua y nutrientes (Beltrano & Giménez, 2015). Por tanto, la acuaponía produce vegetales con un mayor valor añadido ya que pueden ser considerados como productos ecológicos. Es, por tanto, un modelo de producción sostenible de alimentos en el que se integran la agricultura de plantas y animales, de manera que puede disminuir la presión de pesca en los mares y ríos, además de reducir otro tipo de producciones animales terrestres menos sustentables proveyendo otra fuente de proteína animal (Somerville et al., 2014).

Por todo ello, la acuaponía no puede ser considerada exclusivamente como ciencia o tecnología, o como una forma de autoconsumo ecológico y

sostenible, o incluso como una actividad económica que potencie el empleo verde, sino como una herramienta de gran valor didáctico en las clases de Biología (Diver, 2000).

Coincido con Scaglione et al., (2019) en que la acuaponía puede ser utilizada como recurso didáctico transversal en el que se puede experimentar la interdisciplinariedad, donde las disciplinas son instrumentos que ayudan y contribuyen a descubrir e interpretar la realidad, donde se percibe la globalidad de la naturaleza, en la que casi todo está relacionado, nada está incomunicado y todo forma parte de todo.

#### 2.5.1 Fundamentos biológicos del sistema acuapónico

Se fundamenta en el ciclo del nitrógeno en los que los agentes biológicos primordiales son los peces, las plantas y las bacterias nitrificantes. El nitrógeno es un elemento esencial para todos los seres vivos, dado que forma parte de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), aminoácidos, proteínas y otros componentes celulares (Pratt & Cornely, 2014).

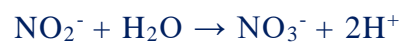
La entrada de nitrógeno en los sistemas acuapónicos proviene del alimento que se les proporciona a los peces, tanto de los nutrientes que no procesan como de las sustancias de deshecho que genera su metabolismo, que es excretado por los peces en forma de nitrógeno amoniacal (90%) (Timmons et al., 2018). Aunque las plantas pueden incorporar esta forma de nitrógeno, el nitrato es la principal forma química mediante el que las plantas incorporan el nitrógeno a sus células, sintetizando así sus proteínas, lo que se traduce en su crecimiento vegetativo (Zou et al., 2016).

Hay que tener en cuenta, además, que el nitrógeno amoniacal es extremadamente tóxico para los propios peces, por lo que es necesario eliminarlo de las aguas, para ello, el amonio sufre un proceso de nitrificación que implica una primera oxidación a nitrito llevada a cabo por bacterias del género *Nitrosomonas* y posteriormente este nitrito es oxidado a nitrato por bacterias del género *Nitrobacter*, la estequiometría del proceso se puede sintetizar de la siguiente manera (adaptado de Pérez, 2001):

1. Producción de nitrito mediante *Nitrosomonas sp.*



2. Producción de nitrato mediante *Nitrobacter sp.*



En el sistema acuapónico (ver maqueta del mismo en figura MT 11) este efluente de la acuicultura es recogido por el biofiltro, que dispone de las bacterias nitrificantes que realizarán el proceso de nitrificación descrito en líneas precedentes y que se sitúa previo al sistema hidropónico.

De esta manera, el nitrógeno amoniacal excretado por los peces es transformado en nitratos proporcionando una fuente de nitrógeno para el crecimiento de las plantas.



*Figura MT 11. Maqueta del Proyecto Aquaroca elaborada por los alumnos de 3º de la ESO de Educación Plástica y Visual. En azul podemos observar los biofiltros donde encontraríamos las bacterias nitrificantes. En gris las tuberías de PVC que formarían el sistema NFT.*

### 2.5.2 El sistema acuapónico como recurso didáctico

En el mundo actual parece imprescindible que las nuevas generaciones adquieran un conjunto de conocimientos y de aptitudes básicas en las disciplinas científicas. Buch (2003) o Edwards et al. (2004), sugieren que esta formación científica de base, debe permitir a los jóvenes comprender y participar, con responsabilidad, en la búsqueda de soluciones a los problemas del mundo.

En este sentido la acuaponía, proporciona un contexto excelente para la enseñanza, el aprendizaje y la aplicación del contenido académico, particularmente en ciencias y matemáticas (Jiménez, 2013; Schneller et al., 2015; Wardlow et al., 2002), pero también para promover un aprendizaje práctico, experiencial e integrado y para fomentar una alimentación saludable,

potenciar una agricultura sostenible y promover el cuidado y apego por el medio ambiente (Lehner, 2008; Nelson, 2007; Wardlow et al., 2002).

Los sistemas acuapónicos de interior tienen el potencial de llevar el mundo natural al aula, al tiempo que fomentan el uso de la experimentación y el aprendizaje práctico. En un estudio realizado con alumnos de 5° y 6° grado Schneller et al. (2015) encontraron avances estadísticamente significativos en las puntuaciones sobre el conocimiento ambiental del grupo de tratamiento frente al grupo de control, así como mayores actitudes positivas para la preservación del medio ambiente.

En una investigación de tipo exploratorio con docentes que emplearon la acuaponía en sus clases como parte de un proyecto STEM sobre alimentación, Hart et al. (2013) muestran que pese a los problemas de tipo técnico que encontraron a la hora de implementar los equipos acuapónicos, los participantes, valoraron positivamente las experiencias de aprendizaje generadas por la acuaponía y su aplicación en las clases.

Para Jiménez (2013) el empleo de la acuaponía en educación, favorece la investigación del alumno lo que facilita un aprendizaje significativo, cambia el rol del docente al de facilitador del proceso de enseñanza y favorece el enfoque investigador del currículo. Todo ello es debido a que el sistema acuapónico entre otras acciones.

a) Se adecúa al ambiente de la clase, lo que facilita la labor investigadora.

b) Promueve la formulación de problemas, provocando en el alumno curiosidad y deseos de indagar.

c) Pone en juego las informaciones previas de los alumnos (creencias, representaciones, pre-conceptos, etc.) sobre el modelo que se investiga.

La acuaponía no solo favorece unos aprendizajes significativos sino que permite situar al alumno dentro del contexto natural, favoreciendo la integración de los mundos micro y macroscópicos; en este sentido, Muñoz (2016) afirma que la acuaponía es un sistema adecuado para la explicación en los primeros niveles educativos, de la relación entre lo micro y lo macroscópico y una oportunidad de explorar el entorno natural generando interpretaciones sobre la realidad cercana, aprovechando la curiosidad natural del alumno sobre los seres vivos.

Por otro lado, la tendencia actual en educación es la de integración de saberes, para obtener un aprendizaje global y práctico a la par que atractivo y eficaz, lo que permite preparar al alumno para la vida real. Estos mimbres son los que busca el hecho de evaluar por competencias, que implica el conectar la teoría, con el análisis y la práctica, adquiriendo conocimientos al mismo tiempo que habilidades. Estas ideas se plasman muy bien en la utilización didáctica de los sistemas acuapónicos como manifiesta Oliva (2017). Según este autor, la Acuaponía es una herramienta que facilita el aprendizaje a través de la interdisciplinariedad. En su estudio realizado con docentes y alumnos universitarios destaca que el modelo acuapónico permite la retroalimentación y estímulo para la transversalidad de contenidos en la docencia.

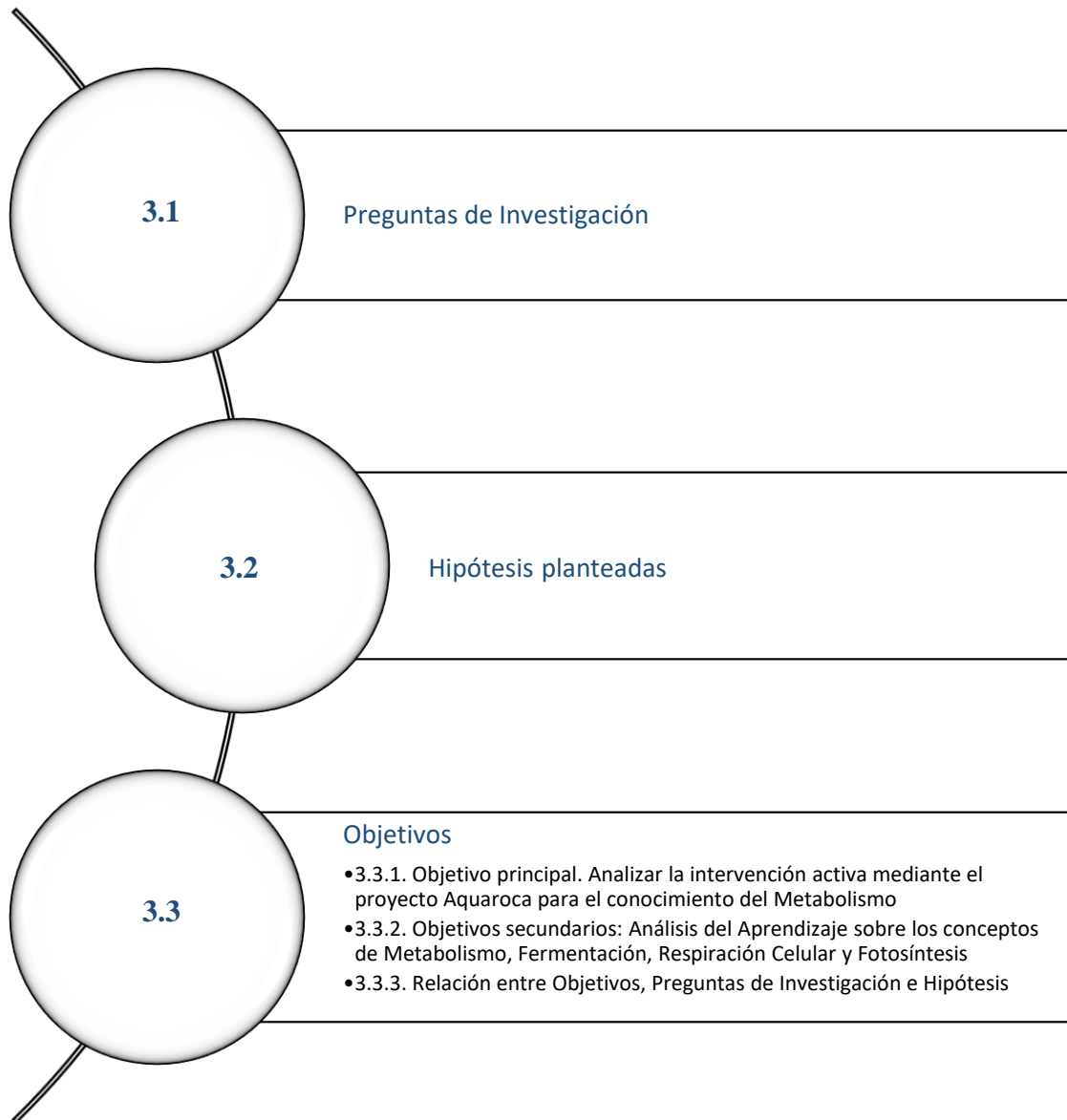


La acuaponía es pues un sistema que favorece el aprendizaje de materias científicas de una forma integradora, es muy útil para el trabajo por competencias y puede ser empleada para el estudio de conceptos complejos relacionados con procesos metabólicos como la fotosíntesis, la germinación o el crecimiento vegetativo (Jiménez, 2013).

*Definir un problema significa especificarlo en detalle y con precisión.  
Cada cuestión y aspecto subordinado que deban responderse han de  
ser delimitados. Deben determinarse los límites de la investigación.*

(F. Whitney, 1999)

# Capítulo 3. Planteamiento del problema



## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

### **3.1 Preguntas de Investigación**

La pregunta general de investigación establece los límites de la investigación, así como la dirección del estudio, que para esta tesis doctoral es la pertinencia del empleo de la metodología Aquaroca en el proceso de enseñanza-aprendizaje de conceptos metabólicos complejos. De esta pregunta general, brotan una serie de cuestiones más específicas recogidas a continuación:

PI-1. En cuanto al rendimiento académico del alumnado, ¿aparecen diferencias según se utilice la metodología tradicional o la de Aquaroca en la enseñanza de los conceptos metabólicos?

PI-2. ¿Los alumnos presentan algún tipo de cambio en su estructura mental con respecto a los conceptos metabólicos dependiendo de la metodología empleada?

PI- 2.1. ¿Cómo aparece representada la estructura cognitiva de un estudiante de 1º Bachillerato respecto a la Respiración Celular, la Fermentación, la Fotosíntesis y el Metabolismo?

PI- 2.2. ¿Qué similitudes tienen las Redes Asociativas Pathfinder del alumnado comparadas con la Red Básica Conceptual y la Red del profesor?

### **3.2 Hipótesis planteadas**

Una vez establecido nuestro marco de estudio a través de las preguntas de investigación y tras conocer a fondo la teoría sobre el tema a investigar, se

enuncian las hipótesis de trabajo que deben ser congruentes a la o las preguntas de investigación.

Para la PI-1 presentamos las siguientes hipótesis:

Hipótesis 1.1. Para la variable Aprendizaje, existen diferencias estadísticamente significativas entre los alumnos que experimentan una metodología basada en Aquaroca y los que reciben una metodología tradicional.

Hipótesis 1.2. Los puntajes medios obtenidos en los cuestionarios de los alumnos del grupo experimental son mejores que los puntajes logrados por los alumnos del grupo de control para los cuatro conceptos estudiados (Metabolismo, Respiración Celular, Fermentación y Fotosíntesis).

Hipótesis 1.3. El alumnado de 1° de bachillerato participante muestra diversas ideas previas sobre los contenidos objeto de estudio, las cuales disminuyen en los que reciben la metodología Aquaroca.

Para la PI-2:

Hipótesis 2.1. No existen diferencias significativas en la coherencia de las redes, medida mediante el Índice de Coherencia de Redes, del alumnado del grupo Aquaroca y del grupo Control para ninguno de los conceptos metabólicos objeto de estudio.

Hipótesis 2.2. La complejidad de las redes del alumnado, medida mediante el Índice de Complejidad de Redes, del grupo Aquaroca para los conceptos metabólicos de Metabolismo, Respiración Celular, Fermentación y Fotosíntesis, es mayor que las del alumnado del grupo de control.

Hipótesis 2.3. La similitud entre las redes del alumnado y las del docente, medida mediante el Índice de Similaridad de Redes, para los conceptos metabólicos de Metabolismo, Respiración Celular, Fermentación y Fotosíntesis, es mayor en el alumnado del grupo experimental que en el del grupo de control.

Hipótesis 2.4. La similitud de las redes del alumnado para los conceptos de Metabolismo, Respiración Celular, Fermentación y Fotosíntesis, es mayor con las redes del profesor que con las redes de la Ciencia.

### **3.3 Objetivos**

3.3.1 **Objetivo principal.** Analizar la intervención activa mediante el proyecto Aquaroca para el conocimiento del Metabolismo

Este objetivo se puede a su vez desglosar en varios objetivos específicos:

OPE-1. Evidenciar las mejoras en el aprendizaje del metabolismo en los alumnos que recibieron la metodología Aquaroca.

OPE-2. Observar si existen diferencias significativas en los resultados obtenidos en las pruebas, entre los alumnos en los que se utilizó el método de enseñanza/aprendizaje Aquaroca y en los que se aplicó el método tradicional.

OPE-3. Analizar las Redes Asociativas Pathfinder (RAP) de los alumnos con el fin de comprobar si aparecen cambios en su estructura cognitiva en función de la metodología empleada, así como cambios en la coherencia, similitud y complejidad de la misma.

### 3.3.2 Objetivo secundario: Análisis del Aprendizaje sobre los conceptos de Metabolismo, Fermentación, Respiración Celular y Fotosíntesis

El objetivo secundario en función del objetivo principal, se puede dividir en varios objetivos específicos:

OSE-1.1. Establecer si existen mejoras en el aprendizaje del concepto de Metabolismo para el alumnado del grupo Aquaroca frente a los del grupo Control.

OSE-1.2. Observar las mejoras en el aprendizaje del concepto de Respiración Celular entre los alumnos que recibieron la instrucción Aquaroca frente los alumnos del grupo Control.

OSE-1.3. Determinar los progresos en el aprendizaje del concepto de Fermentación obtenidos por los alumnos que recibieron la metodología Aquaroca.

OSE-1.4. Identificar los avances obtenidos por el alumnado del grupo Aquaroca en el aprendizaje del concepto de Fotosíntesis.

OSE-2.1. Comprobar si las redes asociativas de cognición del alumnado tanto de Aquaroca como de Control, presentan diferencias en cuanto a la coherencia interna de las mismas para los conceptos de Metabolismo, Respiración Celular, Fermentación y Fotosíntesis.

OSE-2.2. Observar si las redes asociativas de cognición del alumnado tanto de Aquaroca como de Control, presentan diferencias en cuanto a la complejidad estructural para cada uno de los conceptos estudiados.

OSE-2.3. Analizar si existe similitud entre las redes asociativas de cognición generadas por el profesor para los conceptos de Metabolismo, Respiración Celular, Fermentación y Fotosíntesis, y las del alumnado tanto del grupo Aquaroca como del grupo Control.

OSE-2.4. Documentar la similitud existente entre las redes asociativas de cognición generadas a partir de los libros de texto para los conceptos de Metabolismo, Respiración Celular, Fermentación y Fotosíntesis, y las del alumnado tanto del grupo Aquaroca como del grupo Control.

### 3.3.3 Relación entre Objetivos, Preguntas de Investigación e Hipótesis

En el siguiente cuadro (Tabla P1) se recogen las relaciones existentes entre los objetivos, las preguntas de investigación y las hipótesis del estudio.

*Tabla P 1. Relación entre las preguntas de investigación creadas, las hipótesis planteadas y los objetivos de investigación.*

Preguntas de Investigación		Hipótesis	Objetivo Principal	Objetivos Secundarios
<b>PI-1</b>		H-1.1, H-1.2 y H-1.3	OPE-1, OPE-2	OSE-1.1, OSE-1.2, OSE-1.3, OSE-1.4
<b>PI-2</b>	PI-2.1	H-2.1 y H-2.2	OPE-2, OPE-3	OSE-2.1, OSE-2.2
	PI-2.2	H-2.3 y H-2.4	OPE-3	OSE-2.3, OSE-2.4

En la tabla P1, se pormenoriza en la columna de la izquierda, las preguntas de investigación que surgen, que generan una serie de hipótesis que se detallan en la segunda columna. En las dos últimas columnas se reflejan los objetivos tanto principales como secundarios que se pretenden alcanzar con la



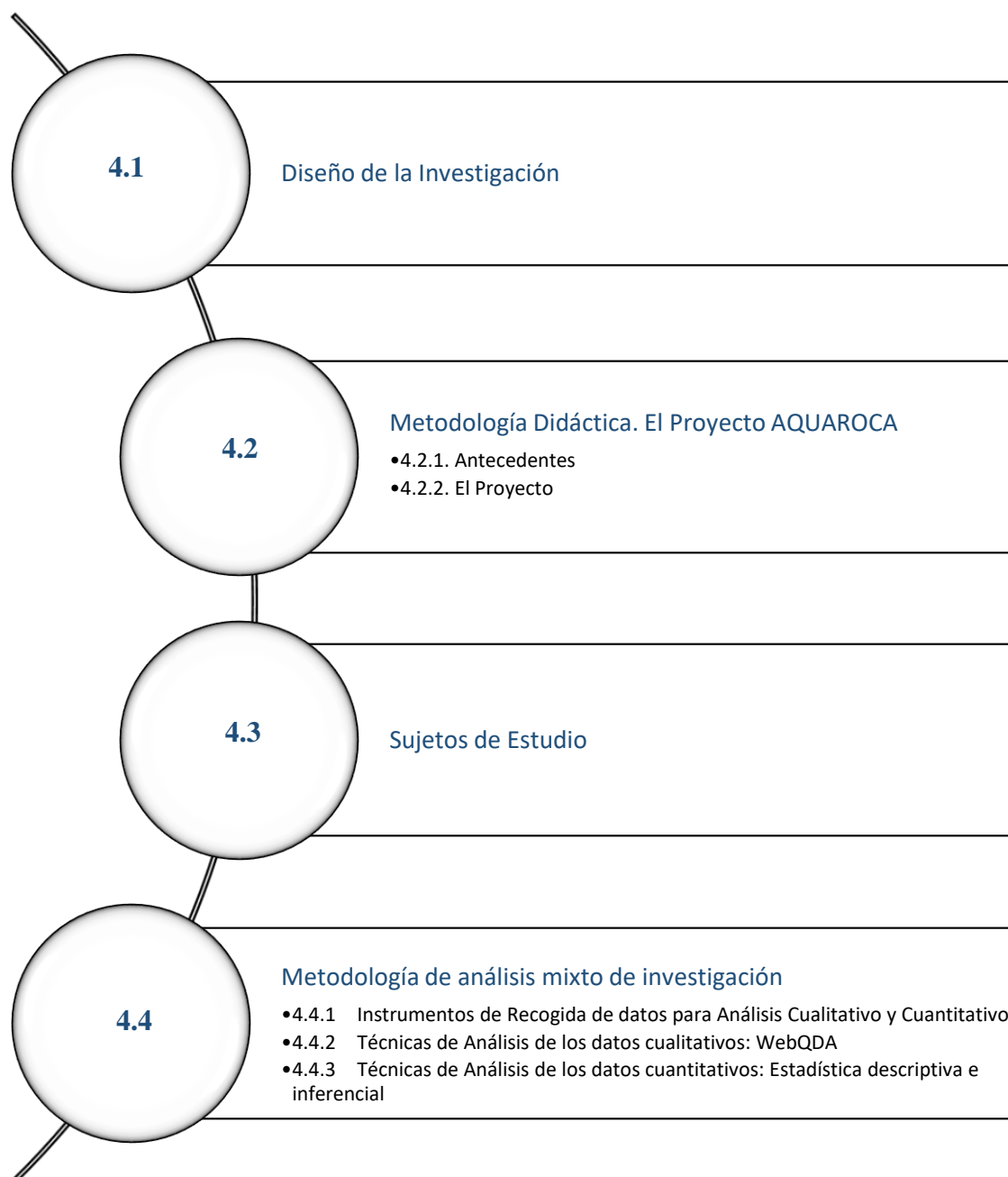
investigación, vinculados con las hipótesis y preguntas de investigación anteriormente mencionadas.

*if a child can't learn the way we teach maybe*

*we should teach the way they learn*

(Atribuido a Ignacio Estrada)

# Capítulo 4. Metodología



# METODOLOGÍA

## 4.1 Diseño de la investigación

La investigación realizada puede enmarcarse dentro de los diseños cuasi-experimentales, ya que los sujetos objeto de estudio son los alumnos de 1º de Bachillerato del IES Sierra de San Pedro y es de tipo Transversal, ya que compara el aprendizaje de los conceptos metabólicos de dos grupos cuya diferencia es el empleo en uno de ellos, de metodologías activas a través de lo que originariamente fue un proyecto de innovación y que se transformó en una metodología llamada Aquaroca. En lo referente al tipo de análisis de los resultados, es un diseño de tipo Mixto (Cuan-Qual).

El estudio se llevó a cabo con 40 alumnos (N=40, de los cuales el 47,5% eran de sexo femenino y el 52,5% de sexo masculino) pertenecientes a dos cohortes consecutivas de alumnos pertenecientes a los cursos académicos 2017-2018 y 2018-2019 y que cursaban la modalidad de Ciencias.

En relación con la recogida y posterior tratamiento de los datos extraídos para la investigación, se respetaron los principios éticos reconocidos por la Declaración de Helsinki y la legislación española actual.

## 4.2 Metodología Didáctica. El proyecto AQUAROCA

La metodología Didáctica puede ser definida como “las estrategias de enseñanza con base científica que el/la docente propone en su aula para que los/las estudiantes adquieran determinados aprendizajes” (Fortea, 2019, p. 9). Sin embargo y pese a las diferentes investigaciones sobre metodologías didácticas realizadas, no se ha podido identificar la “ideal”, asumiéndose como la mejor de las metodologías una combinación de varias.

Teniendo en cuenta estas tesis diseñamos una metodología basada tanto en el aprendizaje cooperativo como en el aprendizaje por proyectos, para la enseñanza de la Biología en 1º de Bachillerato y específicamente el aprendizaje de los procesos del metabolismo.

### 4.2.1 Antecedentes

Previamente al diseño del proyecto “Aquaroca” que pretendía mediante un sistema basado en la acuaponía, integrar en un solo proyecto todos los procesos metabólicos que estudian los alumnos de 1º de Bachillerato, se desarrollaron otros dos para favorecer los procesos de aprendizaje de los conceptos de fermentación, respiración celular y fotosíntesis: los Proyectos “Enoroca” y “Las plantas marcan el ritmo”.

#### 4.2.1.1 Proyecto Enoroca

Para el estudio del proceso fermentativo y respiratorio, se diseñó un proyecto de elaboración de vino, en el que se siguió la fermentación de los caldos y se estudió el metabolismo de *Sacharomyces sp.* a través de la disminución de azúcares y aparición de CO<sub>2</sub>.

#### 4.2.1.2 Proyecto “Las plantas marcan el ritmo”

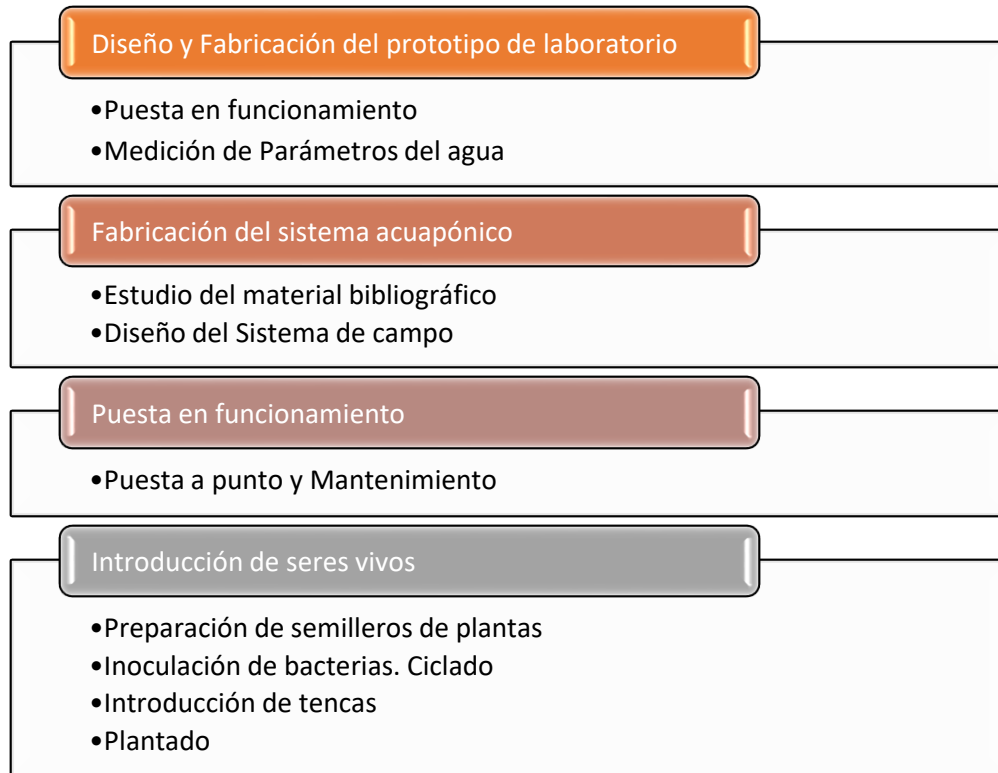
Se estudiaron los procesos metabólicos de las plantas, tanto catabólicos como anabólicos, aunque especialmente los relacionados con la fotosíntesis, en dos momentos trascendentales de la fisiología vegetal: en la germinación y en el proceso de crecimiento vegetativo.

#### 4.2.2 El Proyecto

En la idea de integrar todos los procesos metabólicos dentro de un solo proyecto, surge **AQUAROCA**, proyecto que consistió en la puesta en funcionamiento de un sistema acuapónico, para la producción sostenible de plantas y peces, combinando la acuicultura tradicional con la hidroponía. En un sistema de acuaponía, el agua de la acuicultura, que aquí funciona como un subsistema, alimenta al sistema hidropónico, en el que los desechos son descompuestos en nitritos y posteriormente en nitratos por las bacterias de nitrificación. Estos nitratos son utilizados luego por las plantas como nutrientes, por lo que es posible que el agua retorne al subsistema de acuicultura.

##### 4.2.2.1 La arquitectura física del proyecto

El proyecto fue desarrollado en varias fases como se puede observar en la figura M1.



**Figura M 1. Esquema resumen del proceso de puesta en funcionamiento del sistema acuapónico.**

Para el funcionamiento correcto del sistema se requirieron poner en marcha en paralelo otra serie de microproyectos, como fueron el cultivo de pulgas de agua (*Daphnia sp.*) y lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) como alimento suplementario de las tencas (*Tinca tinca*); cultivo y producción de algas y preparados de levaduras (*Sacharomyces cerevisiae*) para el alimento de las Daphnias y preparación de semilleros para obtener las plántulas requeridas por el sistema acuapónico (ver imagen M2).



**Figura M 2. Proyectos auxiliares al proyecto general Aquaroca. Arriba a la izqda. imagen de microscopía de *Daphnia*. Arriba a la derecha cultivo de *Eisenia foetida* en compostera. Abajo en la izqda. y en el centro preparación de semilleros y a la derecha cultivo de algas.**

#### 4.2.2.2 Fase 1. Diseño y Fabricación del prototipo de laboratorio. Año 1

Para el diseño y construcción del prototipo de laboratorio se decidió seguir las recomendaciones de la FAO (Somerville et al., 2014) para la fabricación de sistemas acuapónicos, pero adaptado a las circunstancias específicas de un laboratorio de un centro escolar. Nuestro sistema debía disponer de un recipiente estanco que recogiera las tencas (Subsistema acuícola), otro para albergar las plantas (Subsistema hidropónico) y un tercero para las bacterias (Biofiltro).

##### 4.2.2.2.1 Preparación de la bandeja de soporte de la estructura hidropónica

A una bandeja convencional de laboratorio, se le practicaron seis orificios que albergarían las plantas. Para mantener una cantidad de agua



siempre fija en la planta, se recurrió al empleo de vasos de plástico pegados a la bandeja que harían las veces de reservorios de agua para que las raíces no se encontraran en ningún momento al aire. Para el sostén de las plantas se usó una plancha de poliestireno expandido de un grosor de 3 cm (fig. M3).



*Figura M 3. Preparación del sistema hidropónico. Arriba se observa como preparan el soporte de las plantas en una plancha de poliestireno. Abajo preparando la bandeja que recibiría el agua procedente del biofiltro.*

#### **4.2.2.2 Preparación del Biofiltro**

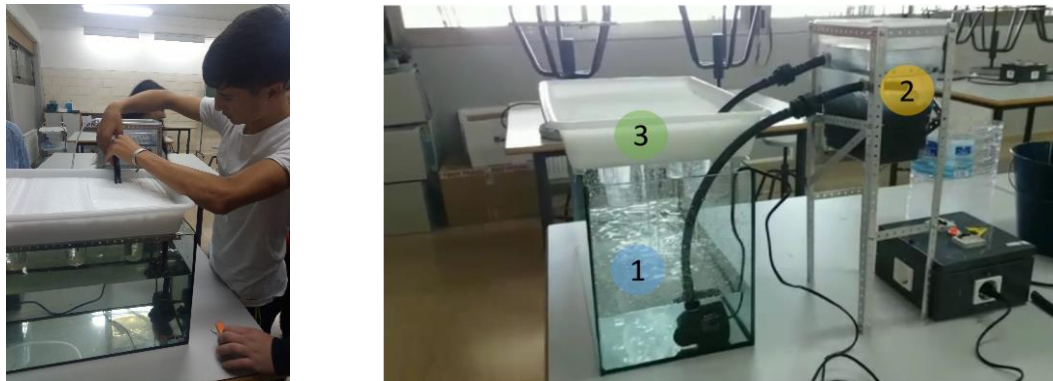
Se confeccionó un biofiltro mediante un depósito de plástico donde se acumulaban las “biobolas” que albergarían las bacterias nitrificantes. Dichas “biobolas” fueron elaboradas con tubo corrugado de 16 mm de diámetro y espuma para rellenos, que haría las veces de cama para las bacterias (fig. M4).



**Figura M 4.** Preparación del biofiltro. Las imágenes izqda. y central representan la elaboración de las “biobolas”. A la derecha se puede apreciar la estructura del biofiltro.

#### 4.2.2.2.3 Montaje del prototipo

Finalmente se procedió al montaje del prototipo al que se añadieron una bomba que llevaría el agua al biofiltro, fluyendo posteriormente al subsistema hidropónico por gravedad y de aquí de igual modo retornaría al acuario (figura M 5).



**Figura M 5.** Montaje del Prototipo de laboratorio del sistema acuapónico. En la imagen de la izqda., se puede observar a un alumno ajustando la salida del agua del recipiente que presenta las biobolas. En la imagen de la derecha se pueden apreciar las diferentes partes que constituyen el sistema: (1) Acuario con sistema de aireación para contener a las tencas y bomba de agua que envía la misma a (2) Recipiente con las biobolas, donde inoculamos las bacterias nitrificantes y que por gravedad vierte el exceso de agua a (3) bandeja perforada donde se situarán las plantas, las cuales se mantienen erguidas gracias al poliestireno que les sirve de soporte.

#### 4.2.2.3 FASES 2 y 3. Fabricación del Sistema Acuapónico y puesta en funcionamiento

Tras el estudio de la bibliografía se decidió la construcción de un sistema de producción acuapónico (ver figura M 6) a pequeña escala según las

directrices de Somerville et al. (2014). Para el subsistema hidropónico se empleó la técnica de película de nutrientes NFT, descrita por Harmon (2003).



**Figura M 6. Construcción del Sistema Acuapónico, por parte de los alumnos de Formación Profesional Básica. (1) Fabricación y montaje del sistema NFT donde se situarán las plantas. (2) Preparación de los depósitos que recogerían el agua del tanque de los peces y que albergan las biobolas. (3) Preparación del depósito para las tencas.**

Al igual que el prototipo el sistema presentaba tres subsistemas (ver figura M 7):

1. Tanque para los peces (Subsistema acuícola). Formado por un depósito reforzado de 1000 litros de capacidad



(1155x1000x1200) fabricado con polietileno de uso alimentario y resistente a rayos ultravioleta.

2. Biofiltros. Formado por dos depósitos de 125 litros. El primero recoge el agua del tanque de las tencas por gravedad y sirve para decantar los sólidos en suspensión. El segundo albergaría las biobolas.



*Figura M 7. Sistema Acuapónico. Puesta en funcionamiento del sistema por los alumnos de 3º ESO de la asignatura de Laboratorio de Ciencias, tras el plantado en el sistema NFT de las plántulas obtenidas de los semilleros.*

3. Sistema NFT (Subsistema hidropónico). Formado por tuberías de PVC de 110 mm dispuestas sobre una estructura metálica unidas mediante tubos de polietileno de 40mm que reciben el agua que viene del Biofiltro. Las plántulas se sitúan cada 25cm en los tubos en una disposición al tresbolillo. El agua es recogida y reenviada al tanque de los peces.

#### 4.2.2.4 FASE 4. Introducción de seres vivos

Previamente a la puesta en funcionamiento del sistema se procedió a la preparación y sembrado de semilleros y producción de alimento vivo (algas, pulgas de agua y lombrices).

Una vez terminado se procedió a la inyección de una mezcla de bacterias nitrificantes al sistema (Biodigest Prodigio<sup>5</sup>) y posterior asentamiento de las bacterias en su nuevo medio o ciclación del sistema durante 20 días. Tras los cuáles se introdujeron las tencas (1,5 kg en el sistema de producción y 160 g en el de laboratorio). Al cabo de otros 20 días sembrado de las plantas.

##### 4.2.2.4.1 *Analíticas de las aguas*

Una vez comenzó el proceso de ciclación se llevó a cabo la analítica diaria del agua (ver figura M 8) de los acuarios para comprobar la evolución de las diferentes formas de Nitrógeno presentes en ellas, para acreditar la eficiencia de las bacterias nitrificantes en primer lugar (por desaparición de amonio y aparición de nitritos y nitratos) y el crecimiento de las plantas al utilizar en sus procesos metabólicos el nitrato formado, lo que implica de facto

---

<sup>5</sup> Producto comercial actualmente descatalogado, que proporcionaba una mezcla de *Nitrosomonas europaea* y *Nitrobacter winogradskyi* en una concentración de  $5 \cdot 10^9$  bacterias por ml. En la actualidad no inoculamos bacterias, dado que tanto las *Nitrosomonas* como las bacterias del género *Nitrobacter*, las encontramos en suelos y en aguas dulces. Simplemente utilizamos aguas de pozo y aumentamos el periodo de ciclado, para alcanzar un crecimiento adecuado de las mismas.

una desaparición del mismo en las analíticas y por ende la depuración de las aguas.



**Figura M 8. Analítica de las aguas de los acuarios. En la imagen de la izquierda se puede observar a los alumnos de 1º de Bachillerato, midiendo las variaciones de nitrógeno amoniacal, nitrito y nitrato en las aguas de los depósitos de los peces, así como la temperatura, el pH y otros parámetros físicos. En la imagen de la derecha, alumnos de 4º comienzan a medir los parámetros de la calidad de dichas aguas, enseñados por sus compañeros de 1º de bachillerato.**

Se empleó el método colorimétrico mediante el Kit comercial de Análisis Multi Test 6 en 1, NT Labs NT170, para las especies de Nitrógeno, así como para la dureza. Para las medidas de pH, turbidez y conductividad se recurrió a medidores digitales de la marca Elektorot. Los fosfatos se midieron con el Kit Easy-Life TPH01.

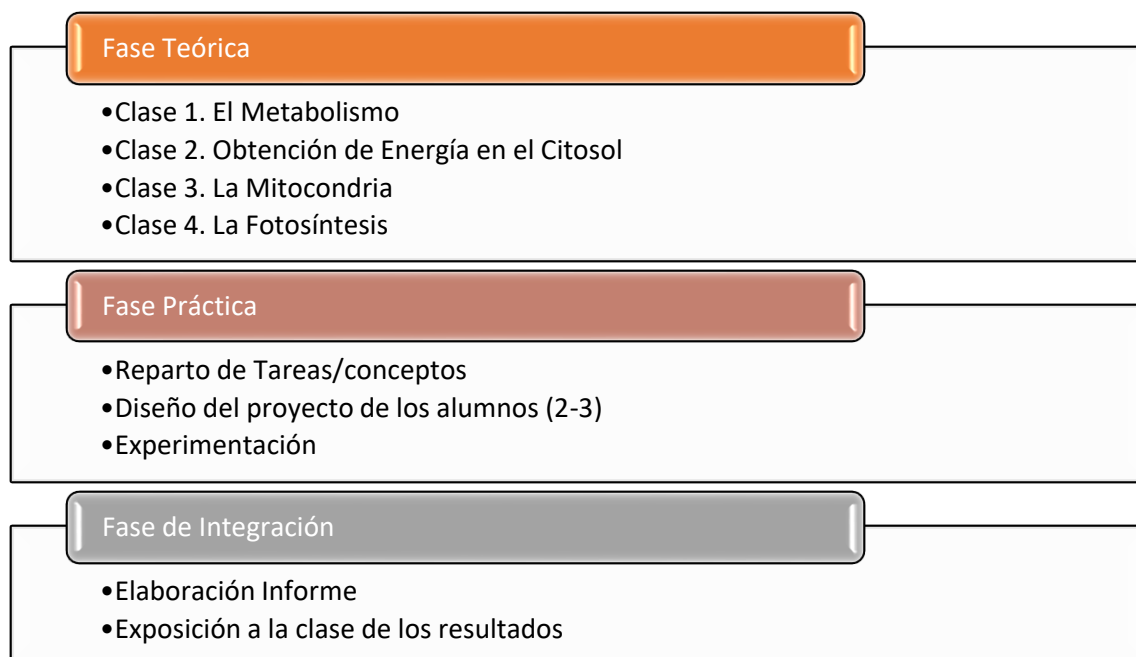
#### 4.2.2.5 Estudio del Metabolismo con el proyecto acuapónico

El proceso didáctico se fundamentó en torno a tres ejes: el primero teórico, luego otro experimental y finalmente una fase de integración del conocimiento teórico y experimental (figura M9). Estas dos últimas fases siguen las pautas que propone Caamaño (2007) para los trabajos prácticos de tipo investigativo (citado por Fernandez, 2013).

##### 4.2.2.5.1 Fase Teórica

Los conceptos relacionados con el metabolismo se trabajaron en cuatro clases teóricas, la primera de introducción al metabolismo general. Las dos

siguientes al metabolismo energético en la que se estudian en una primera clase los acontecimientos que se producen en el citosol celular y en la segunda a nivel mitocondrial y finalmente una aproximación a la obtención de materia propia mediante los procesos fotosintéticos (ver Unidad Didáctica en Anexos).



**Figura M 9. Fases del proceso didáctico.** En el esquema se puede observar que el proceso se realizó en tres etapas. La Fase teórica que se realizó en el aula y que se estructuró en cuatro clases teóricas. La Fase Práctica realizada en el laboratorio, donde se diseñó y se llevaron a cabo los experimentos. Finalmente, la fase de integración de los conocimientos adquiridos en los que cada grupo presentaba al resto las conclusiones obtenidas sobre el proceso experimental y el concepto metabólico estudiado.

#### **4.2.2.5.2 Fase Experimental**

El refuerzo de la materia se realizaba mediante trabajos experimentales específicos dentro del proyecto y que se estructuraban de la siguiente manera:

Clase de Laboratorio 1. Presentación y asignación de los posibles proyectos a grupos de 2-3 alumnos. Aporte de bibliografía de cada uno.

Clases de Laboratorio 2 y 3. El grupo que presenta la práctica a realizar, explica a los otros grupos qué materiales necesita y qué protocolo deben seguir.

Se llevan a cabo los proyectos experimentales y se obtienen y comentan los resultados (Ver Figura M10).



**Figura M 10.** Preparación de las experiencias de laboratorio. En la imagen de la izqda. Ana explica a sus compañeros como realizar la práctica de Fermentación que ha preparado su grupo. En la imagen de la derecha se puede observar cómo realizan el montaje del Fermentador.

#### 4.2.2.5.3 Fase de Integración

Consistía en la elaboración de un informe de laboratorio y presentación posterior de resultados a los compañeros, de esta manera cada grupo de alumnos explicaba teóricamente a sus compañeros el porqué de los resultados obtenidos (ver figura M 11).



**Figura M 11.** Explicación de los resultados obtenidos en las analíticas de los acuarios. Estrella, presenta a sus compañeros el informe de evolución de las especies del Nitrógeno estudiadas en función del metabolismo bacteriano.



### **4.3 Sujetos de estudio**

El grupo objeto de estudio fue de 40 alumnos de los cuales 19 eran de sexo femenino (47.5%) y 21 de sexo masculino (52.5%).

Fue dividido en dos subgrupos: El grupo Control, al que se le aplicó una metodología de enseñanza de corte tradicional y el grupo Aquaroca a los que se les aplicó la metodología activa.

El grupo Control lo constituyeron 20 alumnos de 1° de bachillerato que cursaban la asignatura de Biología y Geología, de los cuales 10 pertenecían al sexo femenino y otros 10 al masculino, del curso 2017-2018.

Por otro lado, el grupo Aquaroca estaría formado por 20 alumnos de 1° de bachillerato que cursaban la asignatura de Biología y Geología, 9 de sexo femenino y 11 masculino, del curso 2018-2019.

### **4.4 Metodología de análisis mixto de la investigación**

El estudio de los problemas de la enseñanza y aprendizaje del metabolismo se ha realizado mediante todo tipo de métodos tanto cuantitativos como cualitativos, dado que tras muchos años de análisis siguen apareciendo de manera persistente los mismos errores conceptuales, el abordar el estudio a través de la aplicación de una metodología mixta, “clase de investigación donde el investigador mezcla o combina técnicas, métodos, enfoques, conceptos o lenguajes de investigación cuantitativa y cualitativa en un solo estudio” (Johnson & Onwuegbuzie, 2004, p. 17), quizás permita mejorar la comprensión del problema de investigación (Cubero et al., 2018).

#### 4.4.1 Instrumentos de Recogida de datos para Análisis Cualitativo y Cuantitativo

##### 4.4.1.1 Prueba Piloto

En primer lugar, se preparó un cuestionario inicial con preguntas abiertas (C-1 en Anexos) que se les pasó a 43 alumnos de 4º ESO (23 del sexo femenino y 20 del masculino) del curso 2016-2017. Con esta primera aproximación se comprobó si el cuestionario era entendible por el alumnado y se pudieron apreciar los errores conceptuales descritos por la literatura de los diferentes conceptos estudiados (Brown & Schwartz, 2009; Cañal, 1999; Charrier et al., 2006; Farina, 2013; Salinas, 2020; Zaforas, 1991).

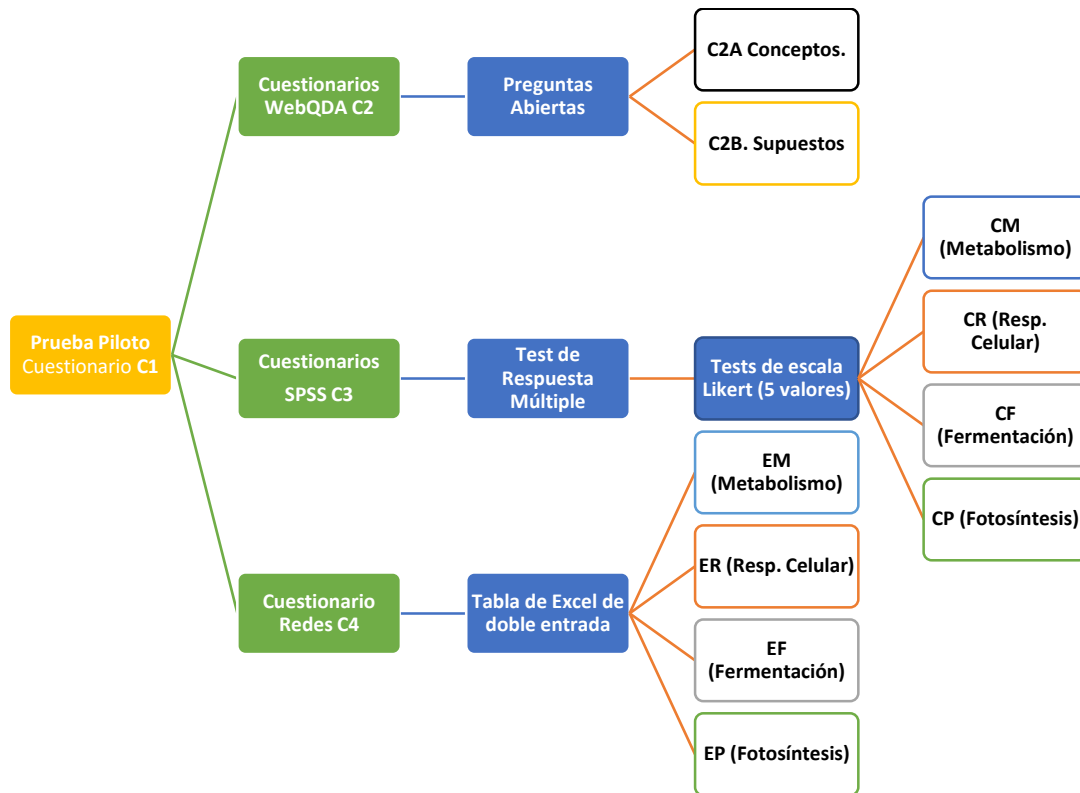
De este cuestionario inicial se obtendría un segundo cuestionario también de preguntas abiertas y que se subdividiría en dos para mejorar su aplicación sin saturar al alumnado (C-2 A y C-2 B) y un tercer cuestionario de 40 preguntas cerradas con respuesta múltiple que se administró a 13 (8 del sexo femenino y 5 del masculino) alumnos de 1º de bachillerato de Ciencias del mismo curso escolar.

Tras la realización a los cuestionarios se preguntó entre el alumnado qué les parecían, siendo bastante crítico con el tercer cuestionario (C-3), por excesivamente denso y complejo. Por lo que se decidió desglosarlo en cuatro mini-cuestionarios, uno por cada concepto a estudiar: metabolismo (C-M), respiración celular (C-R), fermentación (C-F, ver anexos) y fotosíntesis (C-P) y emplear una escala Likert de 5 opciones en lugar de las respuestas múltiples.

Con los datos obtenidos en la prueba piloto se generarían también cuatro tablas de Excel de doble entrada para la obtención de redes asociativas

pathfinder, a las cuales denominamos cuestionarios EM, ER, EF y EP (ver ejemplo en Anexos).

Para una más fácil comprensión del proceso seguido para la elaboración de los cuestionarios ver la figura M 12.



**Figura M 12. Esquema de elaboración de los cuestionarios para el alumnado. En la figura se puede comprobar que a partir de la prueba piloto se elaboran tres tipos de cuestionarios de recogida de datos en función del tratamiento a realizar a posteriori con los mismos. El cuestionario a analizar con el software cualitativo WebQDA estaba compuesto por preguntas abiertas y fue subdividido en C2A donde se preguntaban directamente por los conceptos y C2B donde se proponían supuestos. Los cuestionarios a analizar con SPSS fueron cuatro (CM, CR, CF y CP), uno por cada concepto, eran test de escala Likert, que sustituyeron al test de respuesta múltiple original. Los cuestionarios para la obtención de Redes con GOLUCA, fueron también cuatro (EM, ER, EF y EP) y lo constituían tablas de Excel de doble entrada.**

#### 4.4.1.2 Cuestionarios análisis cualitativo

Los cuestionarios empleados en el análisis cualitativo (C2A y C2B), estaban constituidos por preguntas abiertas de tres tipos: preguntas en las que al alumnado se les pedía una simple definición de los conceptos, preguntas en las que se les inquiría sobre las posibles relaciones que pudieran existir entre

los diversos conceptos y preguntas tipo supuesto práctico en las que a través de situaciones cotidianas se pretendía que hicieran una integración de los conceptos metabólicos en el mundo macroscópico. En la tabla siguiente (tabla M1), se adjunta un ejemplo de preguntas abiertas de los tres tipos descritos anteriormente.

*Tabla M 1. Preguntas tipo para el concepto de Fermentación. En la tabla se puede encontrar ejemplos de los tres tipos de preguntas abiertas que se le hicieron al alumnado. La 1 es un ejemplo de pregunta que pide la definición del concepto. La 2 y 3 representan las cuestiones que indagan sobre las posibles relaciones que el alumno entiende que pueden existir entre los términos estudiados. La 4 es un modelo de pregunta que interpela al alumno para comprobar la integración del conocimiento adquirido.*

#### Desarrolla lo más detalladamente que puedas las siguientes cuestiones

1. Cuando se dice que algo está fermentando ¿a qué nos referimos?
2. La fermentación ¿tendrá algo que ver con la respiración?
3. ¿Qué relación si es que existe alguna, encuentras entre estos dos conceptos?  
Fermentación y Metabolismo
4. Supón que estás haciendo abdominales...
  - 4.1. ¿De qué proceso obtienen tus células musculares la energía?
  - 4.2. Al cabo de un rato, comienzas a notar pinchazos en el abdomen, ya que cada vez estás más fatigado ¿qué proceso está implicado?

Las respuestas fueron analizadas con el software de análisis cualitativo WebQDA, basado en la Web y que permite analizar de forma colaborativa tanto sincrónica como asincrónicamente, fuentes de muy diverso tipo: texto, imagen, video, audio, archivos de Youtube, archivos PDF, etc.

#### 4.4.1.3 Cuestionarios análisis cuantitativo

Para el análisis cuantitativo se emplearon cuatro cuestionarios, uno para cada concepto estudiado (C-M, C-R, C-F y C-P, en Anexos), basados en una escala de tipo Likert con 5 opciones que iban desde nada de acuerdo, a totalmente de acuerdo (ver figura M 13).

La fotosíntesis es en las plantas el proceso equivalente a la respiración en los animales *						
	1	2	3	4	5	
Nada de acuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

El Proceso por el cual las plantas absorben CO <sub>2</sub> y lo transforman en O <sub>2</sub> se denomina fotosíntesis. *						
	1	2	3	4	5	
Nada de acuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo

**Figura M 13.** Ejemplo de preguntas del cuestionario sobre fotosíntesis con escala tipo Likert de cinco opciones.

Cada cuestionario contó inicialmente entre 30 y 35 preguntas fundamentadas en la bibliografía existente, así como en el cuestionario de respuesta múltiple que se realizó inicialmente. Tras su aplicación se depuraron las cuestiones que inducían a error al alumnado, bien porque no eran entendidas por el mismo, bien porque su enunciado no era correcto. De tal modo que el cuestionario de metabolismo quedó con 30 ítems, 23 el de respiración celular, 31 el de fermentación y 26 el cuestionario sobre fotosíntesis. Los datos obtenidos en los cuestionarios serían analizados mediante software estadístico SPSS.

#### 4.4.1.4 Redes asociativas Pathfinder

##### 4.4.1.4.1 Selección de conceptos metabólicos para su comparación

En un primer momento, se hizo necesario realizar una selección de los términos que serían comparados por los alumnos para los conceptos

metabólicos estudiados, con la premisa de que debían ser un número no superior a 14 ni inferior a 10, siendo lo idóneo entre 10 y 12 (Casas 2002).

Para la obtención de dichos términos se emplearon las siguientes fuentes de información:

1. Los libros de texto, ya que, como herramienta básica de la enseñanza, debe mostrar los conceptos más frecuentemente utilizados junto a los estudiados.
2. La experiencia docente, factor clave en el proceso de enseñanza y aprendizaje.
3. Bibliografía científica respecto a los procesos metabólicos, para reunir no solo los conceptos más frecuentemente citados y asociados al metabolismo, fermentación, respiración celular y fotosíntesis, sino también las relaciones entre dichos conceptos.

Una vez decididas las fuentes de información se procedió al análisis de contenidos de los libros de texto mediante el programa WebQDA, del que se obtuvieron los 25 términos más frecuentes asociados a cada concepto en los libros de 1º de Bachillerato de Biología y Geología (ver ejemplo en la figura M14).

A partir de esta selección inicial de los términos más frecuentes se hacía una primera criba cotejándolos con los términos más frecuentes obtenidos de la bibliografía científica, permitiéndonos reorganizar y agrupar los más significativos para cada concepto objeto de estudio.

Posteriormente fueron revisados por los docentes para ser reducidos a 10-14 términos por concepto.

<input checked="" type="checkbox"/>	PALABRA	REPETICIÓN
<input checked="" type="checkbox"/>	energía	280
<input checked="" type="checkbox"/>	proceso	182
<input checked="" type="checkbox"/>	metabolismo	171
<input checked="" type="checkbox"/>	respiración	169
<input checked="" type="checkbox"/>	oxígeno	160
<input checked="" type="checkbox"/>	celular	127
<input checked="" type="checkbox"/>	reacciones	109
<input checked="" type="checkbox"/>	glucosa	106
<input checked="" type="checkbox"/>	materia	103
<input checked="" type="checkbox"/>	procesos	93
<input checked="" type="checkbox"/>	nutrientes	82
<input checked="" type="checkbox"/>	nutrición	79
<input checked="" type="checkbox"/>	molécula	76
<input checked="" type="checkbox"/>	químicas	63
<input checked="" type="checkbox"/>	catabolismo	56
<input checked="" type="checkbox"/>	orgánica	53
<input checked="" type="checkbox"/>	funciones	52
<input checked="" type="checkbox"/>	oxidación	46
<input checked="" type="checkbox"/>	alimentos	45

**Figura M 14.** Consulta realizada con el software WebQDA de las fuentes asociadas a los libros de texto de 1° de Bachillerato de Biología y Geología estudiados, para la obtención de los 25 términos más frecuentes asociados al concepto fermentación.

#### 4.4.1.4.2 Elaboración de las redes asociativas Pathfinder (RAP)

Las redes Pathfinder se derivan de los datos de proximidad. “Para definir las redes Pathfinder, es útil conceptualizar los datos de proximidad como una red completa con el peso de cada enlace igual a la proximidad entre las entidades conectadas por el enlace” (Schvaneveldt, 1989. p.289). Es decir, la información que se necesita para construir una RAP, es lo que se denomina matriz de proximidad. La cual está compuesta por filas y columnas, que se

corresponden con los conceptos que se desean comparar. Cada celda de la matriz contiene un valor numérico que indica la relación de proximidad que tienen los dos conceptos de la fila y columna que indexan esa celda. Los valores elevados indican conceptos muy relacionados mientras que valores bajos señalan poca proximidad o relación entre ambos conceptos (Contreras et al., 2016).

La representación gráfica de la red se va a obtener pues, a partir de la puntuación numérica que se adjudica a la similaridad percibida por un sujeto entre los conceptos comparados y que corresponde a su distancia semántica, la cual, pasa a ser considerada como si fuera una distancia geométrica y los conceptos semánticamente más distantes se representarán más alejados en el espacio y por tanto, los más próximos, más cercanos (Luengo, 2013).

MICROGOLUCA proporciona, gracias a la matriz de proximidad, la recopilación de una serie de indicadores que nos permiten analizar dichas redes, además de la representación gráfica de la red asociativa del alumno, del profesor, etc. Los indicadores que se emplearon en esta tesis fueron los siguientes:

1. Índice de coherencia: Mide la consistencia de las relaciones de conceptos. Su base de cálculo se debe a que la relación entre un par de elementos se puede determinar a partir de sus relaciones con los otros elementos del mismo conjunto (Casas et al., 2013). Este parámetro evalúa el grado de atención y concentración del alumno el momento en el que realiza la prueba. Su valor oscila entre -1 y 1, de tal forma que cuanto mayor es el valor mayor será



la coherencia de la red y por tanto la atención y concentración del encuestado. En la investigación realizada nos permite saber si existen diferencias de atención entre los grupos estudiados lo que condicionaría los resultados obtenidos.

2. Índice de similaridad entre dos redes: Este índice nos va a permitir determinar la semejanza o acercamiento entre las redes. Sus valores oscilan entre 0 y 1, por lo que dos redes serán idénticas si tienen un índice de similitud igual a 1 y serán cada vez menos similares y por tanto más dispares a medida que el índice se aproxime a 0. En esta investigación se estudia la similaridad de las redes medias del alumnado del grupo Control y Aquaroca con la RCB y con la red del docente, lo cual nos permitirá comprobar la influencia del profesor, los libros de texto y la metodología en las redes del alumnado.
3. Índice de complejidad de las redes (ICR): Mide la complejidad de la red. Es un indicador numérico que, basándose en los criterios para la evaluación de Mapas Conceptuales, combina tres aspectos: densidad de los grafos obtenidos, número de nodos múltiples (nodos con tres o más enlaces) y números de enlaces de dichos nodos (Casas et al., 2013). El valor que se obtiene oscila entre 0 y 1000, donde "0" presentaría una red lineal sin ningún nodo múltiple y "1000" una red en la que todos los conceptos estuvieran relacionados con todos, y por tanto, extremadamente compleja. Sin embargo, debido a la propia estructura del

algoritmo pathfinder, este tipo de redes no se dan en la práctica, encontrándose experimentalmente que los valores más frecuentes sitúan entre 0 y 150 (Casas & Luengo, 2012; Casas, 2002). En nuestra investigación, la ICR nos aporta la complejidad de las redes del alumnado según las dos metodologías empleadas, y nos permite comprobar si existen diferencias significativas para los conceptos estudiados.

4. **Nodos o Conceptos nucleares:** Son conceptos que tienen más de dos enlaces en la estructura cognitiva del alumno. Representan a aquellos conceptos que sirven como anclajes a la estructura cognitiva de tal forma que cuanto mayor es el número de nodos nucleares más son las posibilidades de anclar los conceptos nuevos con los conceptos previos (Soto-Ardila et al., 2017).

Para obtener los datos que sirvan para construir nuestras redes se puede recurrir a dos vías diferentes:

1. Encuestando directamente a los sujetos sobre el grado de relación entre cada par de conceptos. Para lo que se puede emplear software específico como Goluca o Meba (Contreras et al., 2016).
2. Mediante el empleo de un software de análisis cualitativo.

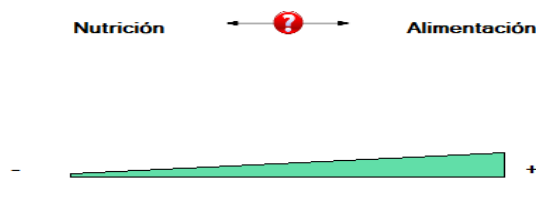
#### 4.4.1.4.3 Redes del alumnado

Para la obtención de las redes del alumnado se realizó una prueba piloto, en la que se obtuvieron los datos por tres procedimientos diferentes:

1. Captura de los datos a través del programa MICROGOLUCA (figura M14).
2. A través de un cuestionario de Google Forms con el formato de escala Likert de 10 valores.

#### TÍTULO

Utilizando el ratón indica la proximidad entre los siguientes dos conceptos:



**Figura M 15.** Interfaz que presenta el programa MICROGOLUCA para la recogida directa de datos. Al alumno se le presentan los dos conceptos a comparar y se le indica que seleccione en la barra con el ratón si entiende que se encuentran más o menos próximos. Una vez que señala su respuesta se le presentan otros dos términos.

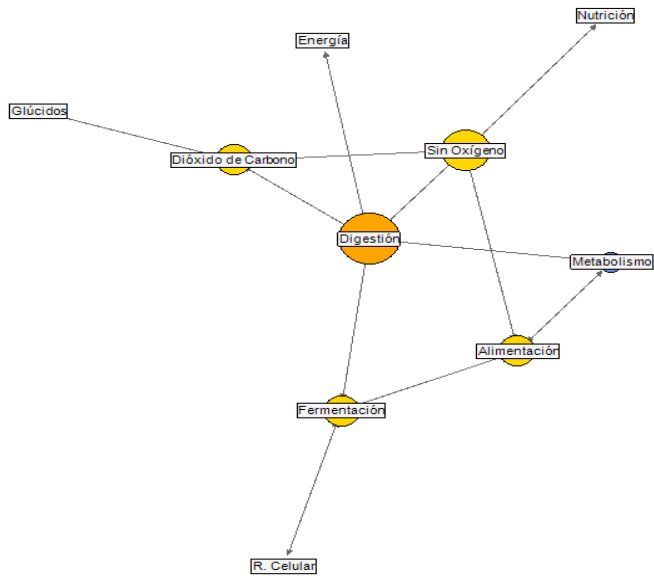
3. Manualmente, gracias a una hoja de cálculo, en la que se le presentan a los sujetos los conceptos y ellos establecen directamente la relación existente entre ambos mediante un rango de valores que van del 0 al 99, donde “0” indica que son conceptos nada relacionados y el valor “99” totalmente relacionados (figura M 15).

	Nutrición	Metabolismo	Respiración C	Alimentación	Glúcidos	Energía	Sin Oxígeno	Dióxido de car	Fermentación
Nutrición									
Metabolismo	80								
Respiración Celular	30	90							
Alimentación	80	90	50						
Glúcidos	90	90	80	90					
Energía	87	99	97	80	90				
Sin Oxígeno	10	90	1	10	90	90			
Dióxido de carbono	60	80	80	30	80	20	80		
Fermentación	70	90	1	40	90	99	99	80	
Digestión	70	70	50	80	80	60	10	30	50

**Figura M 16. Cuestionario de recogida de datos mediante hoja de cálculo para elaboración de las RAP. Se presenta una tabla de doble entrada en la que se le pide al alumno que puntúe de 0 a 99 la relación que existe entre los conceptos enfrentados, donde “0” significa nada relacionados y “99” totalmente relacionados.**

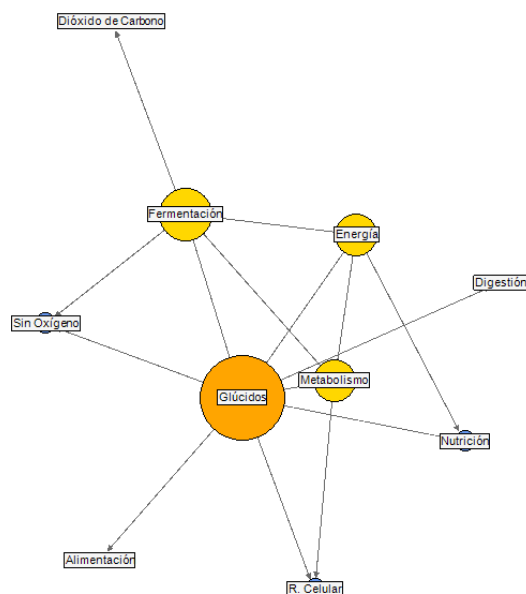
Se tomó la determinación de emplear la hoja de cálculo por varios motivos:

Aunque el formulario de Google Forms era el más sencillo de hacer para los alumnos debido a la posibilidad de que podían emplear sus teléfonos móviles, esta sencillez iba emparejada con una mayor velocidad a la hora de contestar, lo que hacía, por un lado, que disminuyera la coherencia de las redes que se producían; por otro, el hecho de solo poder seleccionar entre 10 valores disminuía la riqueza de las respuestas (Ver ejemplo de red obtenida, figura M16).



**Figura M 17.** Red de Ana obtenida mediante Google Form, presentaba un índice de Coherencia de - 0,41.

El programa Microgoluca era idóneo inicialmente porque permitía solventar el problema de la variedad de respuestas, sin embargo, presentaba la dificultad técnica de que requería ordenadores que tuvieran el software instalado lo que implicaba la buena voluntad de los técnicos informáticos de los Centros, así como la disponibilidad de ordenadores. Además, algunos alumnos tildaban la interfaz de muy infantil (Figura M17 ejemplo de red obtenida directamente en MICROGOLUCA).



**Figura M 18.** Red de Ana obtenida mediante MICROGOLUCA, presentaba un índice de Coherencia de 0,56.

La hoja de cálculo en papel presentaba la gran desventaja para el investigador que implicaba un tratamiento posterior más tedioso, ya que suponía el tener que transformar todas las hojas obtenidas a archivos KNOT, que es un formato de archivo de texto que contiene una matriz triangular y que permite al programa Knowledge Network Organizing Tool (KNOT) y a MICROGOLUCA, producir las redes asociativas mediante el algoritmo pathfinder y el algoritmo “Spring Embedding” (Casas-García, 2002). Un ejemplo de estos archivos se puede apreciar en la figura M19.

En cambio, la hoja de cálculo permitía realizar la recogida en cualquier momento y aumentaba la capacidad de decisión del alumnado sobre su respuesta al cambiar lo “azaroso” de una barra por un número concreto, el cual podían incluso modificar al decidir sobre el valor que asignaban posteriormente

a otros conceptos. Lo cual hacía que este método fuera el más lento de los tres a la hora de recoger los datos.

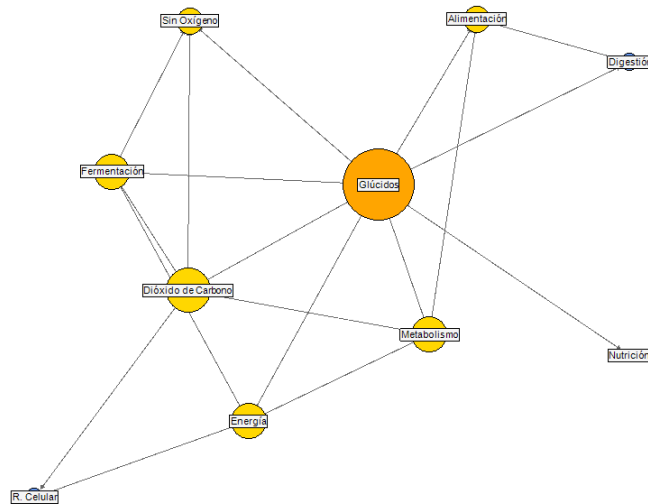
```

10 Nodes
0 decimal places
1 minimum weight
99 maximum weight
lower triangular:
70
1      80
99     30    20
99     80    20    90
99     99    90    80    99
99     10    1     99    99    80
1      90    99    1     1     20    1
50     90    1     80    90    90    1     80
90     30    20    80    99    90    99    1     60

```

*Figura M 19. Archivo KNOT obtenido a partir de la hoja de cálculo. Se puede apreciar la matriz triangular que se introduce en el programa MICROGOLUCA.*

Finalmente, se comprobó de manera experimental que tanto las redes obtenidas mediante el software MICROGOLUCA como las obtenidas manualmente (Ver figura M19) presentaban un índice de similaridad muy alto entre ambas (0,61 en el ejemplo) y nulo o casi nulo comparadas con las redes obtenidas mediante el formulario (0 con la Red MICROGOLUCA y 0,11 con la Red manual).



**Figura M 20.** Red de Ana obtenida mediante la hoja de Cálculo, presentaba un índice de Coherencia de 0,59.

#### 4.4.1.4.4 *Redes del profesorado*

Los docentes fueron encuestados originariamente tanto de forma manual, esto es, mediante la recogida de datos directa, con la hoja de cálculo (figura M13) como con el programa GOLUCA, sin embargo, se decidió contar solo con las redes obtenidas a partir de los datos de la hoja de cálculo para que coincidiera con el sistema de recogida de los alumnos.

#### 4.4.1.4.5 *Red de la Ciencia*

La Red de la Ciencia o Red Básica Conceptual (RBC) se puede definir como la red formada por aquellos conceptos que se consideran elementales sobre un tema concreto. En este caso, la RBC es la representación gráfica de los conceptos metabólicos que la ciencia considera de mayor importancia (Roldán et al., 2018). Esta red nos permite determinar el grado de similitud de las redes de los alumnos.

Esta red ha sido creada por el Software GOLUCA, a partir de la matriz de datos obtenida con el software WebQDA (Souza et al., 2011) tras el análisis



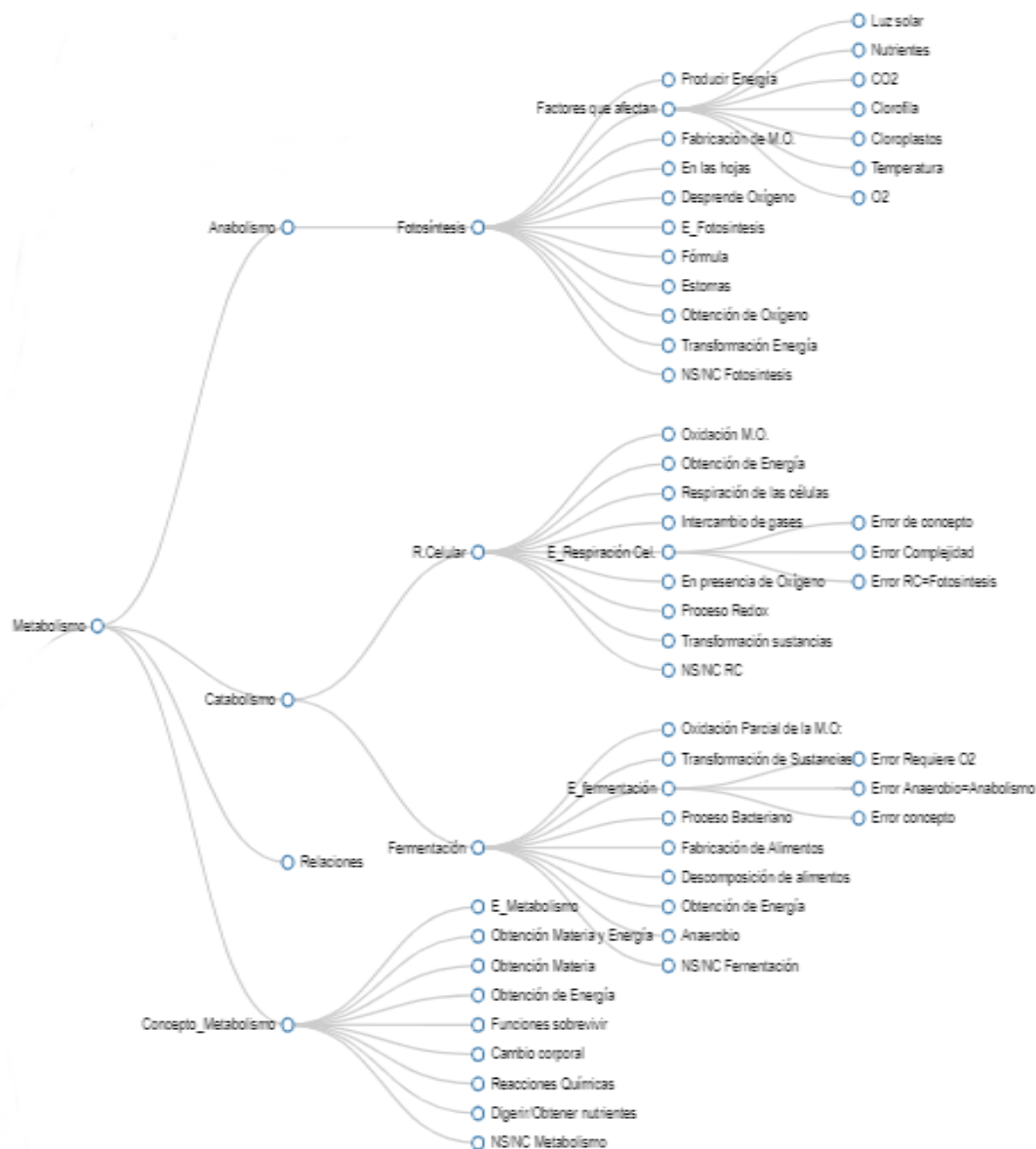
cuantitativo de los libros de texto de 1° de Bachillerato de Biología y Geología de varias editoriales. La ventaja de este programa es que proporciona directamente la matriz de proximidad una vez que se ha realizado el análisis cualitativo pertinente (Ver figura M20).



**Figura M 21. Ejemplo de Matriz Triangular obtenida de los libros de texto para el concepto de Metabolismo mediante WebQDA.**

#### 4.4.2 Técnicas de Análisis de los datos cualitativos: WebQDA

En una investigación cualitativa, el procesamiento de los datos suele ser un arduo trabajo, ya que el investigador no solo se enfrenta a una recopilación exhaustiva de los datos, sino que éstos deben ser transcritos, analizados y categorizados. En la presente tesis se empleó el software específico WebQDA, que permite una mayor fiabilidad en las categorías de análisis. Este software permite analizar datos cualitativos en un entorno colaborativo y distribuido basado en Internet, por lo que está especialmente diseñado para la investigación en ciencias sociales ya que proporciona numerosas ventajas en el análisis de datos cualitativos no numéricos y no estructurados, como son una fácil importación de los datos recolectados, creación de categorías en una estructura de árbol y su codificación (figura M 20), así como la obtención de matrices de comparación entre los elementos analizados (Souza et al., 2011).



**Figura M 22. Árbol de códigos obtenido con WebQDA.**

El establecimiento de categorías se hace muy necesario en el estudio de los cuestionarios con preguntas abiertas dado el volumen de información generado. En este caso, aunque definimos a priori las categorías y subcategorías en función del cuestionario realizado al grupo de alumnos que participaron en la prueba piloto, hubo que introducir cuando fue necesario,

modificaciones y ampliaciones a las mismas, quedando de la siguiente forma (tabla M2):

*Tabla M 2. Categorías y códigos obtenidos para los cuestionarios abiertos.*

<b>Códigos</b>		
<b>Categorías</b>	Positivos	Negativos
<b>Metabolismo</b>	Obtención de Materia y Energía Obtención de Energía Funciones Vitales Reacciones Químicas	Cambio Corporal Digerir Nutrientes E_Metabolismo
<b>Respiración Celular</b>	Oxidación M.O. Obtención de Energía En presencia de Oxígeno Proceso Redox Transformación sustancias	Respiración de las células Intercambio de gases E_Respiración Cel.
<b>Fermentación</b>	Oxidación M.O. Obtención de Energía Anaerobio Fabricación de Alimentos Transformación sustancias Proceso Microbiano	Descomposición de alimentos E_fermentación
<b>Fotosíntesis</b>	Luz Solar Fabricación de M.O. CO <sub>2</sub> Transformación Energía Desprende Oxígeno	Producir Energía E_Fotosíntesis

A partir de estos códigos se generaron una serie de matrices con WebQDA que posteriormente serían analizadas mediante el software estadístico.

#### 4.4.3 Técnicas de Análisis de los datos cuantitativos: Estadística descriptiva e inferencial

Todos los datos obtenidos de los cuestionarios con escala Likert (C-M, C-R, C-F y C-P), los obtenidos mediante el programa GOLUCA para las RAP, así como las matrices obtenidas mediante WebQDA, fueron ingresados en el paquete estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) en la versión 22.0 para Windows, mediante el que fueron procesados y se les realizó un análisis descriptivo e inferencial, utilizando estadística paramétrica y no paramétrica.

La fiabilidad de los cuestionarios se estudió a través del alfa de Cronbach con un valor medio de alfa  $> 0,8$ . En el análisis estadístico inferencial se utilizó la prueba U de Mann-Whitney.

Para el análisis inferencial de la complejidad de las redes también se empleó la prueba U de Mann-Whitney, al igual que para el estudio de similitud con las redes del profesor y de la ciencia (RCB) en las ocasiones en que no fue posible utilizar la T de Student para muestras independientes y dependientes.

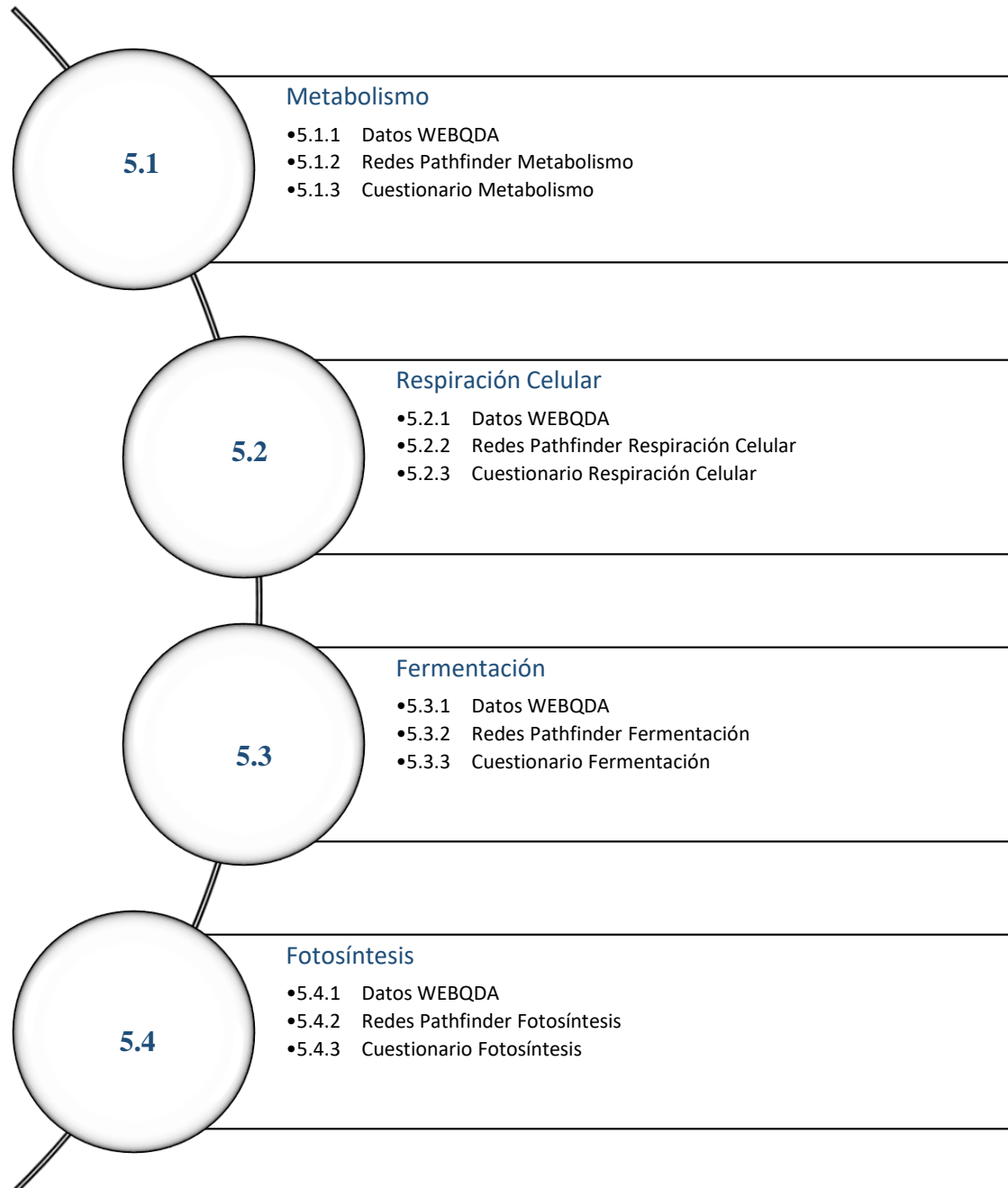
En el caso de las tablas de contingencia obtenidas a partir de las matrices proporcionadas por WebQDA, para el análisis se emplearon la prueba Chi-cuadrado de Pearson y la U de Mann-Whitney para muestras independientes.

En todos los cuestionarios, para verificar la normalidad, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk y se consideró estadísticamente significativo el valor de p inferior a 0,05.

*Al comprobar, nos volvemos capaces de intervenir en la realidad,  
tarea incomparablemente más compleja y generadora de nuevos  
saberes que la de simplemente adaptarnos a ella*

P. Freire (1997)

# Capítulo 5. Resultados



## RESULTADOS

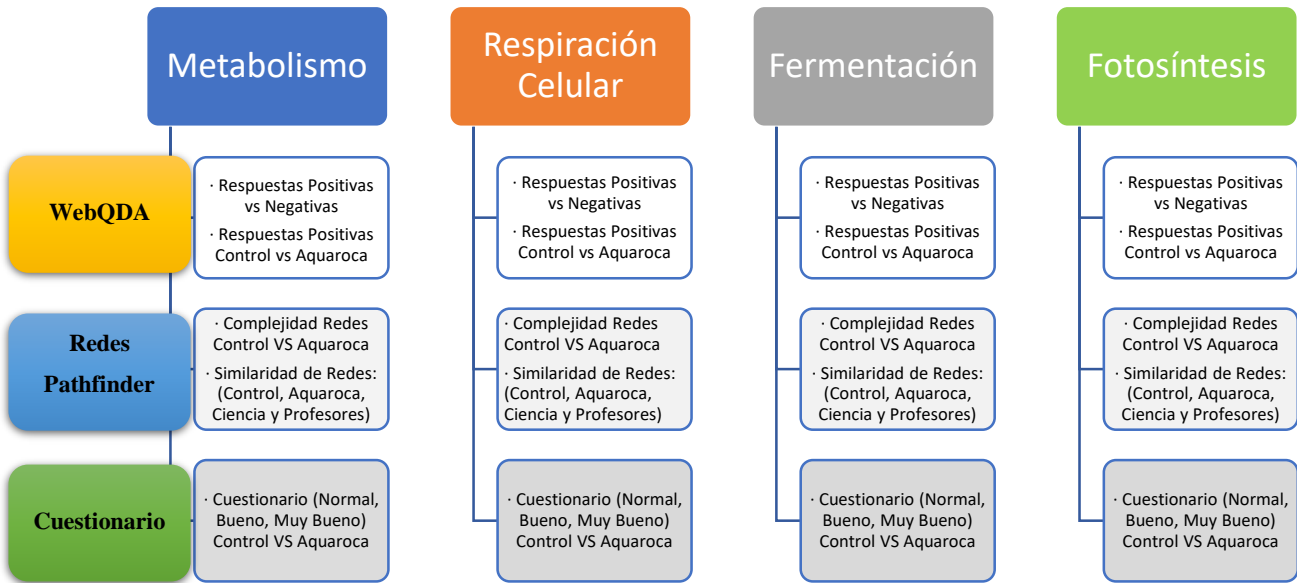
En este capítulo se recogen los resultados provenientes de los estudios realizados. La presentación de los mismos se realiza en función de los 4 conceptos implicados en el proceso de enseñanza: Metabolismo, Respiración Celular, Fermentación y Fotosíntesis.

Dichos resultados se recogen en tres bloques, el primero de corte cualitativo fundamentalmente, obtenido del análisis de los textos derivados del cuestionario abierto mediante WebQDA (Souza et al., 2011); el segundo, emana de los datos obtenidos del cuestionario 2 y analizados a través del programa Goluca 3.1, mediante el que se obtuvieron las diversas Redes Asociativas Pathfinder (RAP) y finalmente el tercer bloque derivado del cuestionario 3, basado en una escala tipo Likert, siendo estos dos últimos bloques de corte mayoritariamente cuantitativo (Ver figura R-1).

En el Bloque de WebQDA se muestran dos tipos de resultados, las diferencias existentes entre las respuestas positivas y negativas frente al concepto estudiado en función de la modalidad de intervención empleada y la cantidad de respuestas positivas por intervención.

En el Bloque de Redes, se comparan, por un lado, la complejidad estructural de las redes de ambos grupos y por otro, la similaridad de éstas con las del docente y con la red de la Ciencia.

Finalmente, en el último bloque, se testean las posibles diferencias entre ambos grupos en función del puntaje obtenido en el cuestionario, siendo calificados los resultados como normales, buenos o muy buenos.



**Figura R- 1. Esquema de los Resultados obtenidos. En las columnas podemos encontrar los cuatro conceptos estudiados. En las filas las tres estrategias empleadas para la obtención de los resultados. En la fila uno “WebQDA” se estudian, para todos los casos, las respuestas positivas y negativas que ofrece el alumnado para los diferentes conceptos metabólicos y se confronta la cantidad de respuestas positivas dadas por los dos grupos. En la fila dos “Redes Pathfinder” se contrasta la complejidad de las redes que presentan los grupos estudiados para los cuatro conceptos metabólicos, así como la similaridad que presentan con las redes del profesor y de la Ciencia para los mismos conceptos. Finalmente, en la fila tres “Cuestionario” se comparan los puntajes obtenidos por los dos grupos para los cuatro conceptos estudiados calificándolos como Normales, Buenos o Muy Buenos.**



## 5.1 Metabolismo

### 5.1.1 Datos WEBQDA

La categorización de los textos fuentes recogidos, llevó a la obtención de los siguientes códigos para la categoría “Metabolismo” mediante el software WebQDA. En la columna “Descripción” se explica que significan cada uno de ellos y se ejemplifica con algún fragmento recogido de los textos analizados.

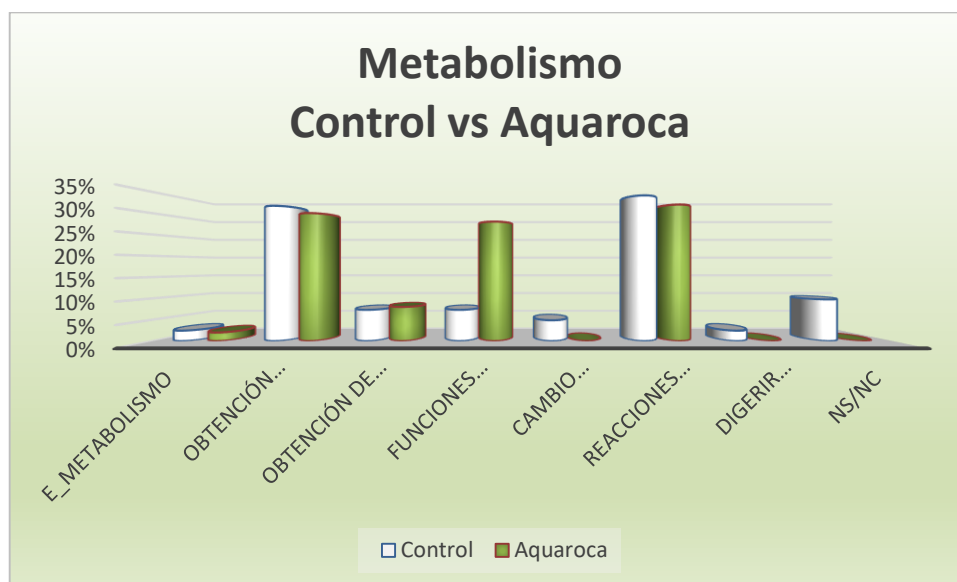
#### Categoría: Metabolismo

	Códigos	Descripción
<b>Respuestas Positivas</b>	Obtención de Materia y Energía	La definición más básica de metabolismo señala que es un proceso cuya finalidad es la obtención de materia y energía por parte de los organismos. En este código se recogen todas esas referencias. Antonio lo define así: <i>“...conjunto de reacciones químicas que tiene lugar en el interior de la célula y tiene como objetivo sintetizar sustancias para que la célula crezca, renueve estructuras y obtiene energía para llevar acabo los procesos vitales.”</i>
	Obtención de Energía	En este código se recogen todas las referencias que señalan que el Metabolismo es un proceso en el que se obtiene principalmente energía para el organismo. <i>“conjunto de procesos químicos en los que se produce energía a través de los alimentos que ingerimos” Marta.</i>
	Funciones Vitales	Se refiere este código, a las respuestas de los alumnos en los que relacionan el metabolismo con el mantenimiento de las funciones vitales de los seres vivos. Víctor por ejemplo nos dice:

		<p><i>“conjunto de reacciones químicas en la que la célula obtiene sustancias y energía para realizar las funciones vitales.”</i></p> <p>Otra de las respuestas está relacionada con los tipos de metabolismo en función de la fuente de energía y de carbono que utilicen:</p> <p><i>“...dependiendo de cómo se obtengan las sustancias y la energía tenemos por ejemplo organismos autótrofos y heterótrofos.”</i></p>
	Reacciones Químicas	<p>En este código se engloban todas las respuestas que el alumno da referidas a que el Metabolismo es un proceso químico.</p> <p><i>“conjunto de reacciones químicas que tienen lugar en el interior de la célula...” Virginia.</i></p>
<b>Respuestas Negativas</b>	Cambio Corporal	<p>Uno de los errores que el alumno comete está relacionado con el “ruido mediático” que se genera alrededor de la nutrición, dietas, etc. Sirva como ejemplo la definición de Cristina sobre el Metabolismo:</p> <p><i>“Cada persona tiene un metabolismo determinado debido a la constitución de su cuerpo, por ejemplo, hay personas que quieren engordar, pero su metabolismo no se lo permite...el metabolismo es la constitución que tiene nuestro cuerpo...”</i></p>
	Digerir Nutrientes	<p>Otro de los errores cometidos está relacionado con la relación del metabolismo con la nutrición. En este código se recogen todos ellos. Julio por ejemplo nos dice:</p> <p><i>“la capacidad que tiene tu cuerpo de digerir y obtener los nutrientes de los elementos”.</i></p> <p>María también en esa línea:</p>

		<i>“El metabolismo es un proceso digestivo por el cual se produce la absorción de nutrientes, sales minerales, agua, etc.”</i>
E_Metabolismo		En este código se agrupan los errores que el alumno comete debidos fundamentalmente a desviaciones producidas en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Así por ejemplo Alba nos dice: <i>“tipo de respiración celular que se diferencia de la aeróbica ya que esta es más compleja.”</i>
NS/NC		Código que reúne todas las respuestas en blanco del alumnado.

En la figura R-2 se puede comprobar como el alumno del Grupo Aquaroca define el metabolismo como un conjunto de reacciones químicas que implican la obtención de materia y energía para la realización de sus funciones vitales, hecho este último que difiere notablemente con el grupo Control.



**Figura R- 2. Respuestas al concepto de Metabolismo. En la figura se recogen los porcentajes de las diferentes respuestas dadas por el alumno para definir el concepto de Metabolismo. En blanco se pueden apreciar las respuestas ofrecidas por el alumnado del Grupo Control y en verde las verdidas por el Grupo Aquaroca.**

Como se muestra en la tabla R-1, existe una asociación estadísticamente significativa entre qué metodología se emplea y las respuestas positivas dadas

para el concepto de Metabolismo  $\chi^2_{(3)} = 8,30$ ,  $p=0,04$ . La relación es estadísticamente significativa, aunque moderada (V de Cramer= 0,46,  $p=0,04$ ) como lo corrobora también el coeficiente de contingencia (Coeficiente=0,42,  $p= 0,04$ ).

**Tabla R- 1. Tabla de Chi cuadrado para las respuestas ofrecidas por los dos grupos de alumnos para el concepto de Metabolismo y analizadas con WebQDA.**

Tabla de Contingencia		Chi-cuadrado de Pearson		Lambda		V de Cramer	
		Valor	Sig. asintótica (2 caras)	Valor	Aprox. Sig.	Valor	Aprox. Sig.
Intervención	*	8,30	<b>0,04</b>	0,35	0,04	0,46	0,04
Respuestas positivas							
Intervención	*	7,03	<b>0,01</b>	0,35	0,20	0,42	0,01
Respuestas negativas							

También comprobamos que para las respuestas negativas existe asociación estadísticamente significativa  $\chi^2_{(1)} = 7,03$ ,  $p=0,01$ , pero la integridad de esta relación es menor que la anterior (V de Cramer= 0,42,  $p=0,01$ ). Así mismo, no podemos indicar para ninguna de los dos tipos de respuestas la direccionalidad de la asociación.

**Tabla R- 2. Respuestas positivas ofrecidas por los dos grupos de alumnos para el concepto de Metabolismo.**

Respuestas positivas * Intervención			
		Intervención	
		Control	Aquaroca
0 Respuestas Positivas	Recuento	4	0
	% dentro de Intervención	20 %	0 %
1 Respuesta Positiva	Recuento	2	1
	% dentro de Intervención	10 %	5 %
2 Respuestas Positivas	Recuento	11	9
	% dentro de Intervención	55 %	45 %
3 Respuestas Positivas	Recuento	3	10
	% dentro de Intervención	15 %	50 %
Total	Recuento	20	20

	% dentro de Intervención	100 %	100 %
--	--------------------------	-------	-------

De la figura R-3 se puede inferir que los alumnos del grupo Aquaroca, no solo proporcionan más respuestas positivas que los del grupo Control, sino que además son más ricas para el concepto de Metabolismo.

Para refrendar dicha apreciación, se emplean pruebas no paramétricas para comprobar si es significativa la diferencia mostrada, dado que la prueba de Shapiro-Wilk arrojó un  $p > 0,01$ , lo que implica el rechazo de la hipótesis nula y por tanto asumir que la muestra no sigue una distribución normal. En la tabla R-3 se recogen los resultados obtenidos por los dos grupos para el concepto de Metabolismo mediante la prueba U de Mann-Whitney.



**Figura R- 3. Respuestas positivas al concepto de Metabolismo. Gráfica que recoge (en blanco) las respuestas positivas del grupo Control frente a los del grupo Aquaroca (en verde) en la definición del concepto de Metabolismo.**

La prueba de Mann-Whitney para muestras independientes confirma la impresión ofrecida por la gráfica de barras y, por tanto, que existe una diferencia significativa ( $p=0,01$ ) entre ambos grupos, lo cual se puede apreciar

en la tabla R-3. Esto implica que el grupo Aquaroca obtiene más respuestas positivas y por tanto sus definiciones de metabolismo son más ricas que las del grupo de Control.

*Tabla R- 3. Prueba U de Mann-Whitney para la variable "Resultados positivos del Metabolismo".*

<b>Rangos</b>				
	Intervención	N	Rango promedio	Suma de rangos
TOTAL (agrupado)	Control	20	15,83	316,50
	Aquaroca	20	25,18	503,50
	Total	40		

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>	
	TOTAL (agrupado)
U de Mann-Whitney	106,50
W de Wilcoxon	316,50
Z	-2,76
Sig. asintótica (bilateral)	<b>0,01</b>
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	0,10

a. Variable de agrupación: Intervención

### 5.1.2 Redes Pathfinder Metabolismo

En las siguientes redes asociativas (RAP 1 a RAP 5), se puede apreciar en amarillo (círculo), los conceptos que consideran prioritarios tanto alumnos, como profesores y libros de texto para el caso del Metabolismo. Se denominan conceptos nucleares pues establecen tres o más enlaces con otros conceptos; por lo que son relevantes en la representación de la estructura cognitiva. En todas las redes consideradas (ver tabla R-4 donde se recogen la tipología de los conceptos estudiados) se puede observar, que el término “Energía” es contemplado como concepto nuclear, es decir, que se establece que el Metabolismo es un proceso de obtención de energía fundamentalmente.

En azul aparecen aquellos otros términos que aun siendo importantes no se pueden considerar nucleares, son los denominados nodos polares, los cuales establecen dos conexiones (Casas, 2002; Casas & Luengo, 2004). En esta situación se encontraría el término “Glúcidos”, lo que nos indica que no se considera tan importante la creación de materia propia en los procesos metabólicos como la obtención de energía, en este punto es importante la diferencia entre el alumnado del grupo de Control que lo considera un nodo extremidad mientras que el grupo Aquaroca, lo sitúa en la línea de la Red de la Ciencia y la Red de los profesores.

Finalmente, aquellos conceptos que no se han incorporado debidamente en la estructura cognitiva de los alumnos y por tanto presentan solo un enlace, son los denominados “nodo extremidad” y que aparecerán en las redes sin círculo alguno.

*Tabla R- 4. Tipología de conceptos en las Redes Medias para la definición de Metabolismo.*

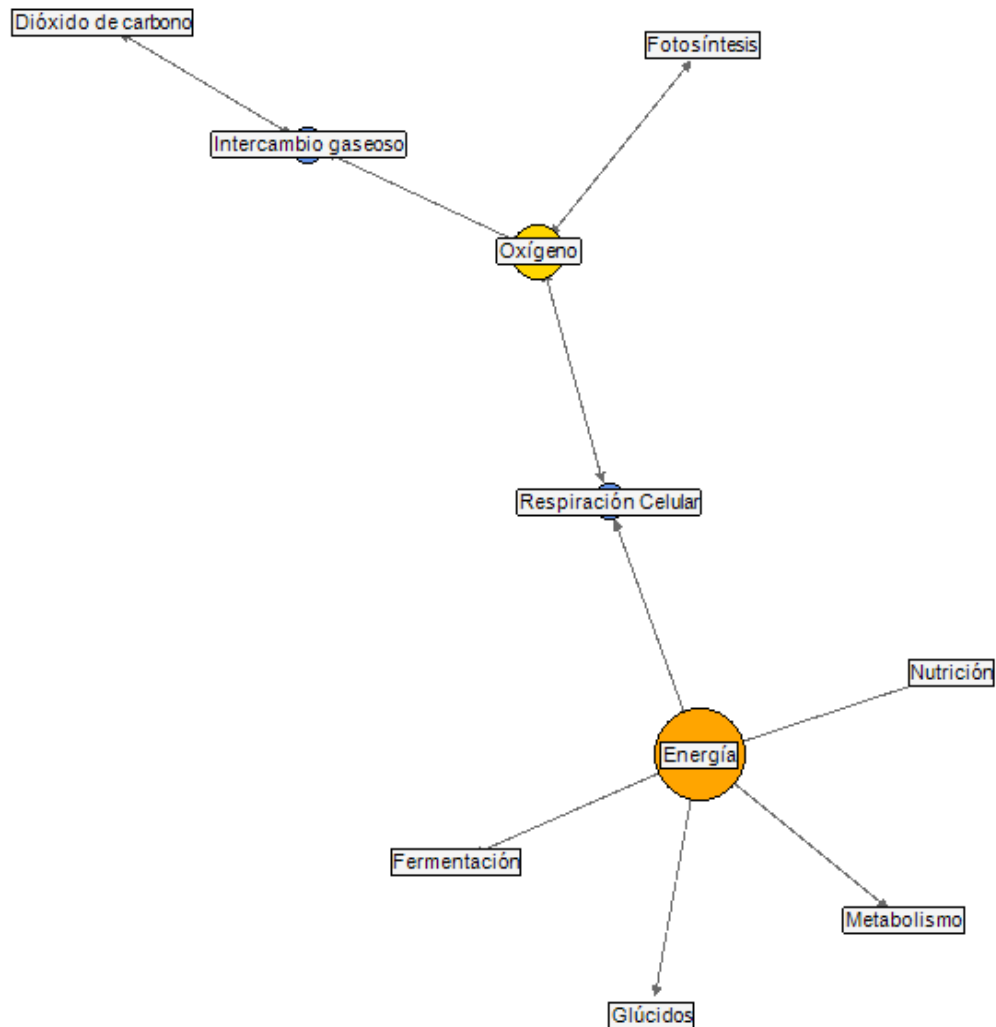
<b>Concepto</b>	<b>Grupo Control</b>	<b>Grupo Aquaroca</b>	<b>Red Ciencia</b>	<b>Red Profesores</b>	<b>Red Profesor</b>
<b>Metabolismo</b>	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Nodo Polar	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear
<b>Energía</b>	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear
<b>Fermentación</b>	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear
<b>Respiración Celular</b>	Nodo Polar	Nodo Polar	Concepto Nuclear	Nodo Polar	Concepto Nuclear
<b>Fotosíntesis</b>	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Concepto Nuclear
<b>Glúcidos</b>	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Nodo Polar	Nodo Polar	Concepto Nuclear
<b>Nutrición</b>	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Nodo Polar	Nodo Polar
<b>Oxígeno</b>	Concepto Nuclear	Nodo Polar	Nodo Polar	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear
<b>Dióxido de Carbono</b>	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear
<b>Intercambio Gaseoso</b>	Nodo Polar	Nodo Polar	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Polar

#### 5.1.2.1 Red Media Grupo Control

En la Red Media del grupo Control se aprecia como los conceptos más importantes para el alumnado son el de Energía y el de Oxígeno (conceptos nucleares) unidos por el concepto de Respiración Celular (nodo polar). Es decir, para ellos los procesos metabólicos implican la obtención de Energía



gracias al proceso de Respiración Celular y al Oxígeno obtenido por Intercambio Gaseoso (nodo polar).

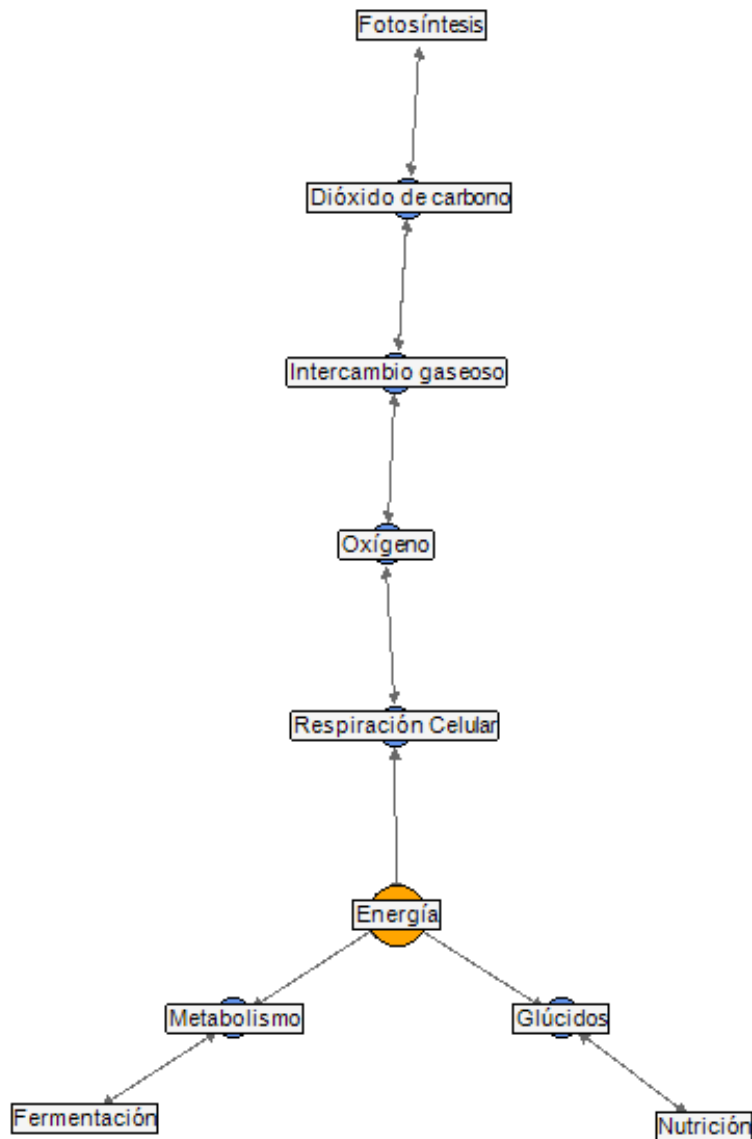


**Figura R- 4. RAP 1. Red Media del Grupo Control para el concepto de Metabolismo.**

#### 5.1.2.2 Red Media Grupo Aquaroca

La Red de los alumnos que siguieron la metodología que empleaba el proyecto “Aquaroca”, presentan solo un concepto nuclear, “Energía” y 6 nodos polares (ver Tabla R-4 de Tipología de Conceptos). En definitiva, se podría decir que entienden que la Energía se obtiene del Metabolismo y de los

glúcidos, a través del proceso de la Respiración celular en presencia de oxígeno que se obtiene en el intercambio gaseoso con el dióxido de carbono.



**Figura R- 5. RAP 2. Red Asociativa Pathfinder Media del Grupo Aquaroca para el concepto de Metabolismo.**

Para comparar ambos grupos se midieron las diferencias entre el número de nodos nucleares que presentaron, así como la densidad y complejidad de las redes formadas (datos recogidos en las tablas R-5 y R-6), lo que nos da una idea de la profundidad del aprendizaje adquirido.

**Tabla R- 5 Datos de complejidad estructural y densidad de las redes y número de conceptos nucleares propuestos por los alumnos del grupo CONTROL para el concepto de Metabolismo.**

<b>Grupo</b>	<b>Alumno</b>	<b>Conceptos Nucleares</b>	<b>Densidad Red</b>	<b>I.C.R. Estructural</b>
<i>CONTROL</i>	C1	3	0,24	8,96
	C2	3	0,20	7,33
	C3	6	0,44	97,78
	C4	1	0,22	1,23
	C5	2	0,22	3,95
	C6	4	0,24	14,12
	C7	7	0,33	64,81
	C8	3	0,22	7,41
	C9	5	0,33	37,04
	C10	3	0,20	6,67
	C11	1	0,20	1,56
	C12	3	0,24	8,15
	C13	2	0,22	2,96
	C14	5	0,31	36,30
	C15	4	0,29	20,54
	C16	3	0,22	7,41
	C17	6	0,36	61,63
	C18	4	0,24	14,12
	C19	8	0,42	131,36
	C20	6	0,27	32,00
	Media	4	0,27	28

En la tabla R-5 se recogen los datos de densidad y complejidad de las redes producidas por los alumnos del Grupo Control, así como el número de conceptos nucleares que establecen para el concepto de Metabolismo. Se aprecia comparando los valores promedios de estas variables con las del grupo Aquaroca representados en la tabla R-6, que existe una tendencia de mayor

complejidad y densidad en estos últimos que en las redes de los alumnos del Grupo Control.

*Tabla R- 6. Datos de complejidad estructural y densidad de las redes y número de conceptos nucleares propuestos por los alumnos del grupo AQUAROCA para el concepto de Metabolismo.*

Grupo	Alumno	Conceptos Nucleares	Densidad Red	I.C.R. Estructural
AQUAROCA	A1	4	0,31	23,51
	A2	3	0,22	7,41
	A3	4	0,24	13,04
	A4	9	0,47	186,67
	A5	6	0,36	64,00
	A6	9	0,42	152,00
	A7	5	0,29	28,89
	A8	9	0,42	156,22
	A9	6	0,31	43,56
	A10	5	0,24	20,37
	A11	4	0,33	28,15
	A12	3	0,27	11,56
	A13	2	0,20	2,67
	A14	6	0,38	68,00
	A15	7	0,31	58,07
	A16	5	0,31	32,84
	A17	8	0,33	82,96
	A18	2	0,20	2,67
	A19	5	0,27	22,22
	A20	3	0,27	12,44
	Media	5	0,31	51

Para estudiar si existen diferencias significativas entre ambos grupos, se comprueba la normalidad de las variables estudiadas. Ninguna de las tres variables objeto de estudio se distribuyen normalmente ya que la prueba de

Shapiro-Wilk presenta un  $p < 0,05$  para cada una de ellas por lo que deberemos emplear pruebas no paramétricas para su estudio.

Se utilizará para el contraste la prueba de Mann-Whitney para muestras independientes (Tabla R-7).

**Tabla R- 7. Prueba U de Mann-Whitney para las variables “Conceptos Nucleares”, “Densidad de la Red” e “I.C.R.” para el concepto de Metabolismo.**

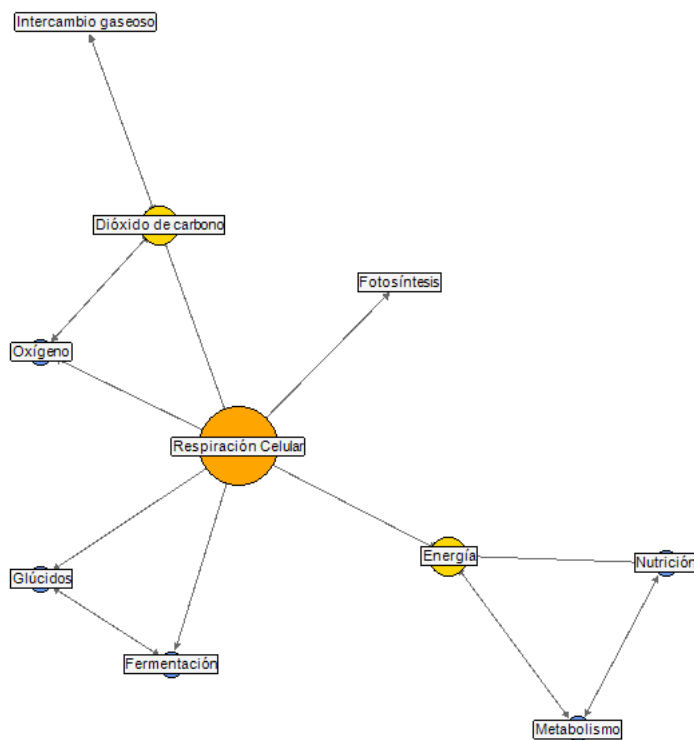
<b>Rangos</b>				
	Grupo	N	Rango promedio	Suma de rangos
Conceptos Nucleares	Control	20	17,25	345
	Aquaroca	20	23,75	475
Densidad	Control	20	17,40	348
	Aquaroca	20	23,60	472
ICR	Control	20	17,30	346
	Aquaroca	20	23,70	474
	Total	40		

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>			
	Conceptos Nucleares	Densidad	ICR
U de Mann-Whitney	135	138	136
W de Wilcoxon	345	348	346
Z	-1,78	-1,69	-1,73
Sig. asintótica (bilateral)	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>	<b>0,08</b>
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	0,08	0,10	0,09

a. Variable de agrupación: Grupo

En la Tabla R-7 podemos apreciar para las tres variables que, aunque los rangos son mayores para los alumnos de Aquaroca, lo que implicaría la formación de redes más complejas y densas y con más conceptos nucleares y por tanto asimilados en su estructura cognitiva, la prueba estadística solo nos arroja una significación marginalmente significativa  $p=0,08$ , por lo que no podemos admitir la hipótesis de estudio para este valor de N. Estos datos, sin embargo, sugieren que un aumento poblacional podría confirmar dicha idea.

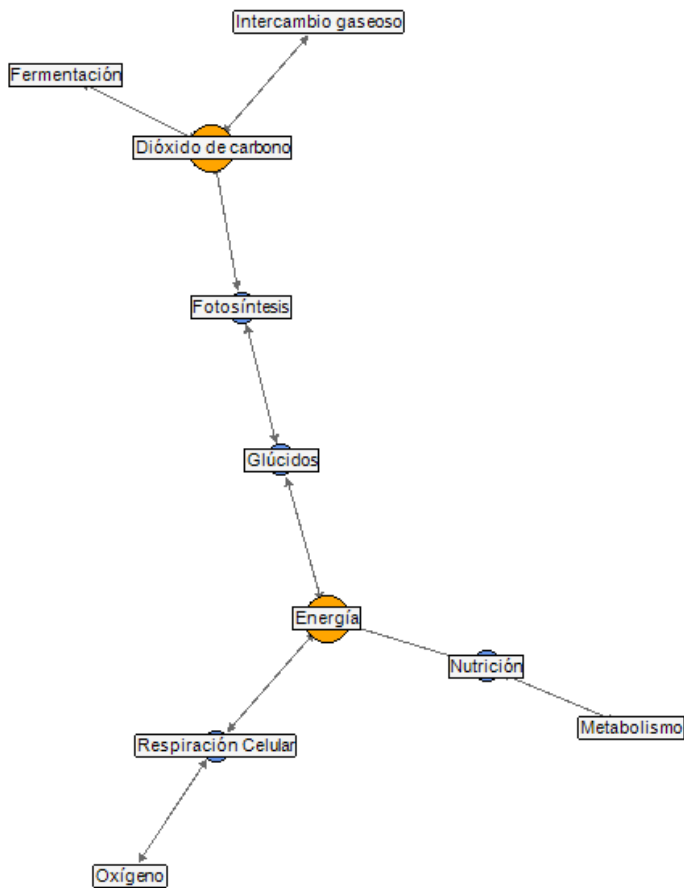
### 5.1.2.3 Red de la Ciencia



**Figura R- 6. RAP 3. Red Asociativa Pathfinder de la Ciencia para el concepto de Metabolismo.**

La Red de la Ciencia (figura R-6) obtenida de los libros de texto de 1º de Bachillerato mediante WebQDA, nos muestra como los conceptos nucleares son además de la Respiración Celular, la Energía y el Dióxido de Carbono. Lo que implica que básicamente la Respiración es un proceso cuya función es la obtención de energía con la producción final de CO<sub>2</sub>, fruto de la oxidación total de la materia orgánica asimilada por la célula. Esto nos sugiere, que la presentación que realizan los libros de texto sobre el concepto de metabolismo, se decanta fundamentalmente por el proceso de obtención de energía principalmente, esto es, por la Respiración Celular.

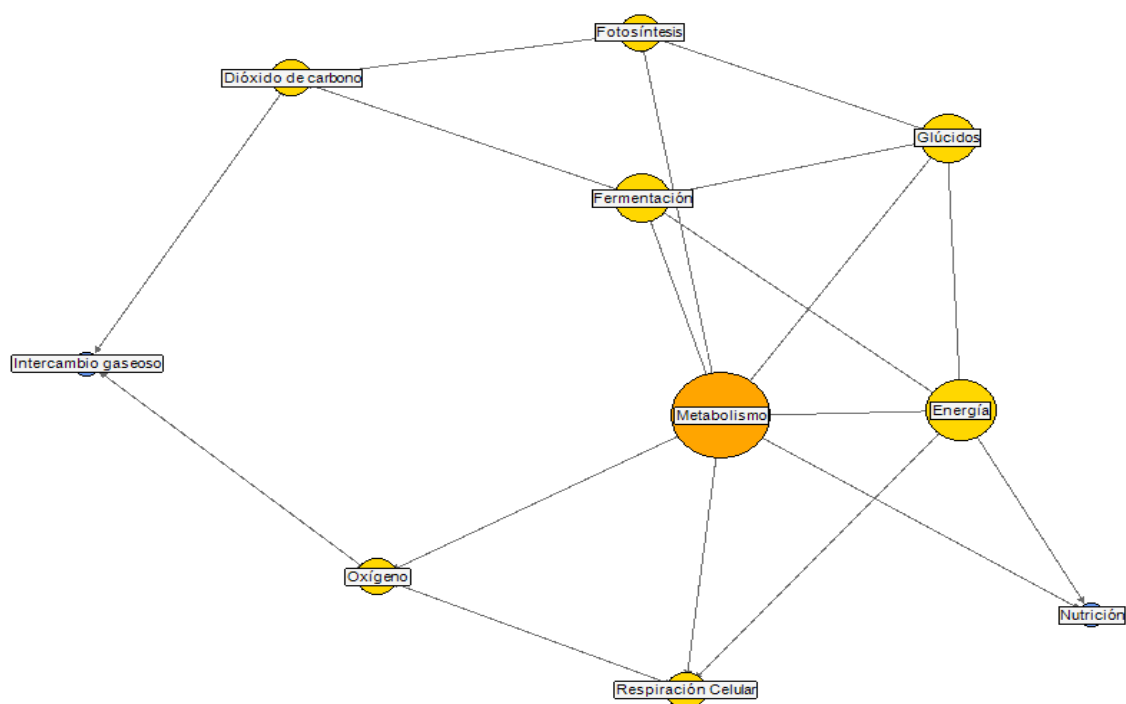
#### 5.1.2.4 Red Media de los profesores



**Figura R- 7. RAP 4. Red Asociativa Pathfinder Media de los profesores de Biología y Geología para el concepto de Metabolismo.**

La red media de los profesores presenta el metabolismo con 2 nodos nucleares, la energía y el dióxido de carbono y curiosamente de forma periférica (nodo extremidad) el propio concepto de metabolismo. De hecho, se han apreciado diferencias importantes en las redes de los profesores, en función de su antigüedad en la docencia, pero sobre todo de su origen académico.

### 5.1.2.5 Red del profesor



**Figura R- 8. RAP 5. Red Asociativa Pathfinder del profesor que impartió docencia a los dos grupos para el concepto de Metabolismo.**

La red del profesor (fig. R-8) nos muestra como alrededor del concepto nuclear “Metabolismo” giran los otros tres estudiados, siendo el concepto de “Energía” y el de “Glúcidos” (materia orgánica) los otros dos conceptos nucleares cardinales en la explicación del metabolismo. Por el contrario, el concepto de “Nutrición” es considerado por el docente como polar.

En definitiva, para el profesor el metabolismo es un proceso que implica la obtención de energía y materia (glúcidos) gracias a otros procesos metabólicos que requieren oxígeno (Respiración Celular) o bien que necesitan o en los que participa de algún modo el dióxido de carbono (Fotosíntesis y Fermentación respectivamente).

Para contrastar si existen diferencias significativas en el proceso de aprendizaje de ambos grupos de alumnos en función de la metodología



empleada, se estudiaron los índices de similaridad tanto con el profesor, como con los libros de texto (Red de la Ciencia), los datos obtenidos mediante el programa GOLUCA 3.1 se recogen en las tablas R-8 (grupo Control) y R-9 (Grupo Aquaroca).

**Tabla R- 8. Datos obtenidos para cada alumno del grupo CONTROL con el programa GOLUCA 3.1. Se recogen las Variables: “Coherencia”, “Índice de Similaridad con la Red del Profesor” e “Índice de Similaridad con la Red de la Ciencia” para el concepto de Metabolismo.**

Grupo	Alumno	Coherencia	Índice Similaridad	Índice Similaridad
			Profesor	Red Ciencia
CONTROL	C1	0,33	0,38	0,35
	C2	0,41	0,13	0,17
	C3	0,52	0,36	0,28
	C4	0,46	0,22	0,22
	C5	0,52	0,27	0,10
	C6	0,61	0,32	0,28
	C7	0,44	0,32	0,29
	C8	0,36	0,40	0,22
	C9	0,54	0,43	0,42
	C10	0,42	0,13	0,11
	C11	0,48	0,23	0,05
	C12	0,45	0,38	0,15
	C13	0,43	0,27	0,22
	C14	0,63	0,33	0,30
	C15	0,05	0,24	0,04
	C16	0,50	0,47	0,29
	C17	0,64	0,31	0,33
	C18	0,65	0,26	0,21
	C19	0,59	0,42	0,24
	C20	0,55	0,50	0,20
	Medias	0,48	0,32	0,22

En la tabla R-8 se puede comprobar como los valores de coherencia del alumnado perteneciente al grupo Control, salvo el caso del alumno C15 que indicaría el poco interés que puso al hacer la prueba, son correctos en líneas generales. Por otro lado, también podemos observar como el índice de similitud de redes, parece mayor entre los alumnos y el profesor que entre los alumnos y la red de la Ciencia.

**Tabla R- 9. Datos obtenidos para cada alumno del grupo AQUAROCA con el programa GOLUCA 3.1. Se recogen las Variables: “Coherencia”, “Índice de Similitud con la Red del Profesor” e “Índice de Similitud con la Red de la Ciencia” para el concepto de Metabolismo.**

Grupo	Alumno	Coherencia	Índice Similitud	Índice Similitud
			Profesor	Red Ciencia
AQUAROCA	A1	0,32	0,45	0,18
	A2	0,37	0,27	0,22
	A3	0,32	0,21	0,21
	A4	0,39	0,30	0,27
	A5	0,63	0,31	0,22
	A6	0,63	0,37	0,41
	A7	0,64	0,29	0,39
	A8	0,56	0,42	0,35
	A9	0,37	0,33	0,18
	A10	0,81	0,38	0,35
	A11	0,49	0,27	0,29
	A12	0,60	0,50	0,26
	A13	0,68	0,35	0,24
	A14	0,57	0,35	0,26
	A15	0,13	0,28	0,18
	A16	0,43	0,28	0,24
	A17	0,52	0,50	0,42
	A18	0,65	0,42	0,24
	A19	0,49	0,36	0,33
	A20	0,62	0,36	0,26

	Medias	0,51	0,35	0,28
--	--------	------	------	------

Con la tabla R-9 se puede acreditar que los valores de coherencia del alumnado del grupo Aquaroca son adecuados en general, exceptuando el caso del alumno A15 que revela su falta de atención a la hora de hacer la prueba. Por otro lado, también podemos comprobar como el índice de similaridad de redes, al igual que sucedía para el grupo Control, parece mayor entre los alumnos y el profesor que entre los alumnos y la red de la Ciencia.

La revisión de las tablas R-8 y R-9 sugiere una mayor similaridad de las redes del alumno con la red del profesor. Para estudiar si existen diferencias significativas entre las RAP (Redes Asociativas Pathfinder) de los grupos estudiados con la del profesor y la de la ciencia, se comprueba la normalidad de las variables estudiadas.

Las tres variables objeto de estudio se distribuyen normalmente ya que la significación en todas las pruebas, nos invitan a aceptar la hipótesis nula ( $p > 0,05$ ), por lo que podremos emplear las pruebas T de Student.

*Tabla R- 10. T de Student para muestras independientes, de las variables "Coherencia", "Similaridad con la Red del Profesor" y "Similaridad con la Red de la Ciencia" para el concepto de Metabolismo.*

Estadísticas de grupo					
	Intervención	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Coherencia	Control	20	0,48	0,14	0,03
	Aquaroca	20	0,51	0,16	0,04
Similaridad del Profesor	Control	20	0,32	0,10	0,02
	Aquaroca	20	0,35	0,08	0,02
Similaridad Red Ciencia	Control	20	0,22	0,10	0,02
	Aquaroca	20	0,28	0,08	0,02

Prueba de muestras independientes					
	Prueba de Levene de calidad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias		
	F	Sig.	T	gl	Sig. (bilateral)
Coherencia	1,24	0,27	-0,70	38	0,49
Similaridad Red del Profesor	1,33	0,26	-1,11	38	0,28
Similaridad Red de la Ciencia	0,89	0,35	-1,82	38	<b>0,08</b>

En primer lugar, a la luz de los datos aportados por la tabla R-10, no podemos afirmar que existan diferencias significativas en la coherencia de los dos grupos ( $p=0,49$ ), lo que indica que no hubo ningún grupo que mostrara mayor diligencia que el otro al realizar la prueba y que por tanto los datos obtenidos no se pueden achacar a la toma de los mismos.

En segundo lugar y aunque las medias del grupo Aquaroca son superiores tanto para las redes del profesor como para la Red de la Ciencia, en ningún caso la diferencia es lo suficientemente significativa para afirmar que se produzca una mejoría notoria para el grupo Aquaroca frente al grupo Control, aunque hay que señalar que hay una diferencia marginalmente

significativa entre ambos grupos ( $p=0,08$ ), para el caso de la Red de la Ciencia, la cual podría aumentar en poblaciones de estudio mayores.

Por otro lado, y tal como se puede ver en la siguiente tabla (R-11) en la que se recogen los datos obtenidos para la prueba T de muestras emparejadas, sí que existe una diferencia estadísticamente significativa ( $p<0,01$ ) entre el parecido de las redes del alumnado a la Red del profesor, frente a la Red de la Ciencia, para ambos grupos, de tal manera que se aprecia una mayor influencia del docente en el proceso de Enseñanza-Aprendizaje, que de los libros de texto representados por la Red de la Ciencia.

**Tabla R- 11. T de Student de muestras dependientes, a las variables "Similaridad con la Red del Profesor" y "Similaridad con la Red de la Ciencia" para los grupos CONTROL y AQUAROCA en el estudio del concepto de Metabolismo.**

<b>Estadísticas de muestras emparejadas</b>							
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar		
<b>Control</b>	Similaridad profesor	0,32	20	0,10	0,02		
	Similaridad Red Ciencia	0,22	20	0,10	0,02		
<b>Aquaroca</b>	Similaridad profesor	0,35	20	0,08	0,02		
	Similaridad Red Ciencia	0,28	20	0,08	0,02		
<b>Prueba de muestras emparejadas</b>							
		Diferencias emparejadas			T	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar			
<b>Control</b>	Similaridad profesor -	0,10	0,10	0,02	4,35	19	<b>&lt;0,01</b>

	Similaridad Red Ciencia						
<b>Aquaroca</b>	Similaridad profesor - Similaridad Red Ciencia	0,08	0,09	0,02	3,80	19	<b>&lt;0,01</b>

### 5.1.3 Cuestionario Metabolismo

La fiabilidad del cuestionario es buena con un valor de alfa = 0,86, como se puede comprobar en la tabla R-12 que a continuación se muestra.

**Tabla R- 12. Estadísticas de Fiabilidad del Cuestionario sobre el Metabolismo. Resumen del procesamiento de casos. Alfa de Cronbach.**

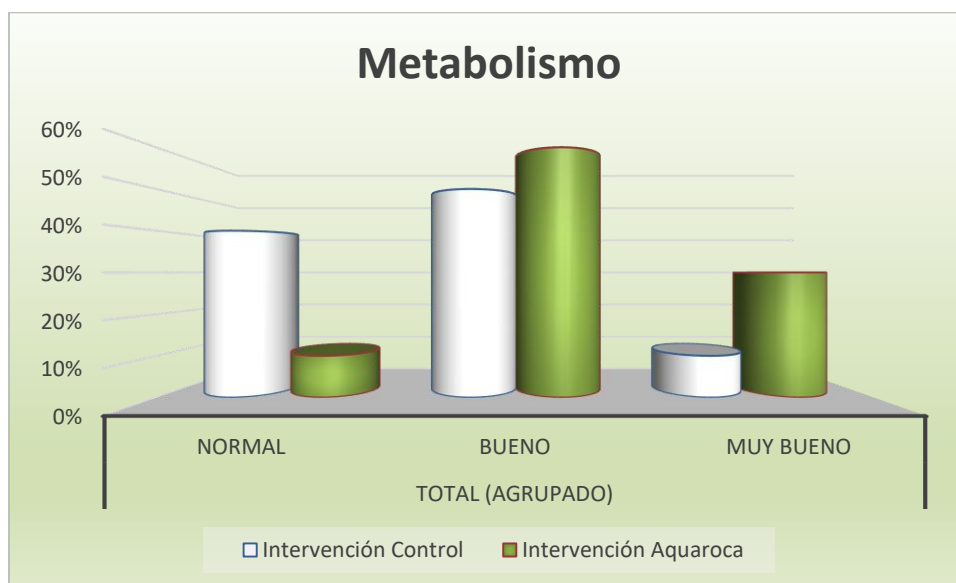
<b>Resumen de procesamiento de casos</b>			
		N	%
Casos	Válido	40	100
	Excluido <sup>a</sup>	0	0
	Total	40	100
<b>Estadísticas de fiabilidad</b>			
Alfa de Cronbach		N de elementos	
0,86		30	

Los puntajes obtenidos de la agrupación de los resultados se pueden clasificar en normales, buenos y muy buenos como se recogen en la siguiente tabla (Tabla R-13).

**Tabla R- 13. Puntaje total agrupado del cuestionario de Metabolismo en función de la intervención realizada.**

<b>TOTAL (agrupado)*Intervención</b>				
			Intervención	
			Control	Aquaroca
TOTAL (agrupado)	NORMAL	Recuento	8	2
		% dentro de Intervención	40 %	10 %
	BUENO	Recuento	10	12
		% dentro de Intervención	50 %	60 %
	MUY BUENO	Recuento	2	6
		% dentro de Intervención	10 %	30 %
Total	Recuento	20	20	
	% dentro de Intervención	100 %	100 %	

Tanto en la tabla anterior como en la gráfica siguiente se puede apreciar que existe “a priori” una respuesta más positiva para el concepto de Metabolismo de los alumnos del grupo Aquaroca. Para evidenciar si la diferencia es realmente significativa se comprueba en primer lugar si la muestra se ajusta a una distribución normal.



**Figura R- 9. Resultados del cuestionario de Metabolismo. Porcentaje de alumnos que obtienen puntajes normales, buenos o muy buenos en el cuestionario de Metabolismo. En blanco los valores obtenidos para el grupo Control y en verde para el grupo Aquaroca.**

En la figura R-9 parecen apreciarse diferencias entre los dos grupos estudiados, siendo las respuestas más positivas, las ofrecidas por los alumnos del grupo Aquaroca. Para demostrar que esas diferencias son significativas comprobamos la normalidad de la variable. Los valores del estadístico de Shapiro-Wilk nos hacen rechazar la hipótesis nula ( $p < 0,01$ ) y nos obliga a emplear la U de Mann-Whitney para contrastar los resultados obtenidos para el concepto de Metabolismo por los dos grupos. Datos que son presentados en la tabla siguiente (Tabla R-14).



**Tabla R- 14. Prueba U de Mann-Whitney sobre la variable "Total agrupada" del cuestionario de Metabolismo.**

<b>Rangos</b>				
	Intervención	N	Rango promedio	Suma de rangos
TOTAL (agrupado)	Control	20	16,60	332
	Aquaroca	20	24,40	488
	Total	40		

**Estadísticos de prueba<sup>a</sup>**

	TOTAL (agrupado)
U de Mann-Whitney	122
W de Wilcoxon	332
Z	-2,34
Sig. asintótica (bilateral)	<b>0,02</b>
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	0,04

a. Variable de agrupación: Intervención

La prueba de Mann-Whitney para muestras independientes nos confirma que los alumnos del grupo Aquaroca consiguen mejores resultados que los alumnos del Control ya que  $p=0,02$  (tabla R-14), lo cual nos hace rechazar la hipótesis nula.

Tanto el cuestionario como el análisis de los textos con WebQDA señalan que hay un mayor número de respuestas positivas para el concepto de Metabolismo para el grupo Aquaroca, lo que parece indicar la bondad de la metodología testada. Sin embargo, y aunque no se puede establecer de forma significativa que las redes asociativas Pathfinder del alumnado del grupo Aquaroca sean más parecidas a las del profesor que las del grupo Control, sí que se puede asumir que existe una influencia muy importante del profesor sobre ambos grupos, ya que en ambos casos las redes son más parecidas al profesor que a los libros de texto, lo que puede enmascarar la influencia del proyecto Aquaroca.

## 5.2 Respiración Celular

### 5.2.1 Datos WEBQDA

A continuación, se recogen los códigos obtenidos de los cuestionarios abiertos planteados a los alumnos para la categoría “Respiración Celular” mediante el software WebQDA.

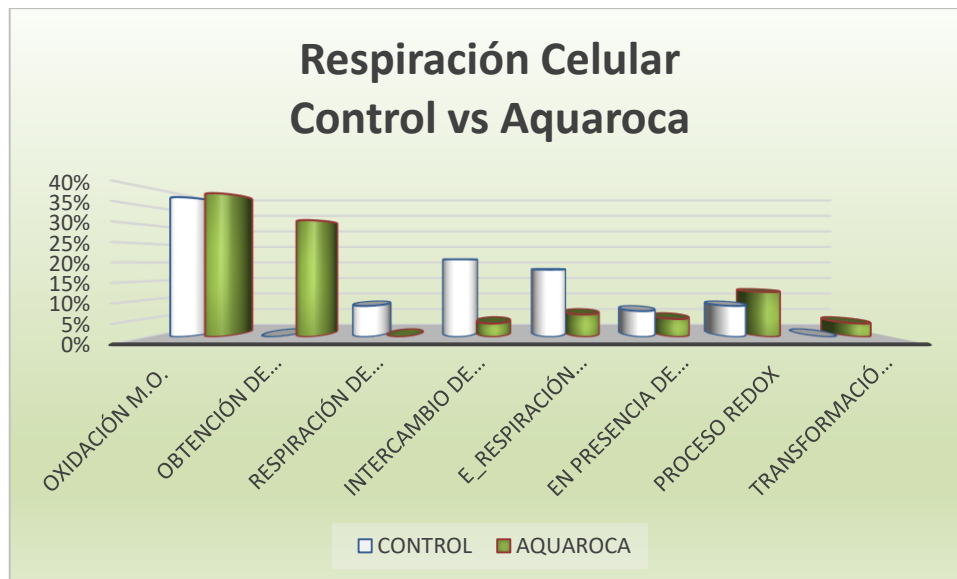
#### Categoría: Respiración Celular

	Códigos	Descripción
<b>Respuestas Positivas</b>	Oxidación M.O.	Se refiere a los procesos que implican la transformación de la materia orgánica en energía química. Isa por ejemplo nos dice: <i>“La respiración celular es la oxidación completa de una molécula de glucosa (materia orgánica)”</i> .
	Obtención de Energía	En este código se recogen todas las referencias que señalan que la Respiración Celular es un proceso metabólico cuya función principal es la obtención de energía. En palabras de Paco: <i>“La célula obtendrá la energía mediante la respiración celular”</i> .
	En presencia de Oxígeno	En este código se engloban todas las respuestas que el alumno da referidas a que, sin el Oxígeno como aceptor final de electrones, no sería posible el proceso respiratorio aerobio para la obtención de energía. <i>“Respiración celular aerobia es aquella que se realiza con la presencia de oxígeno”</i> Jesús.

	Proceso Redox	La Respiración Celular enfocada como un proceso Redox, donde ocurren una serie de reacciones en las que se produce un flujo de electrones de una molécula a otra. Este código muestra todas esas afirmaciones del alumnado. Lucía por ejemplo nos comenta: <i>“Es un proceso redox en el cuál la molécula de glucosa se oxida a CO<sub>2</sub> y el oxígeno se reduce a molécula de agua”</i> .
	Transformación sustancias	Este código, se refiere a los procesos que implican la transformación de la materia orgánica (glucosa principalmente) en materia inorgánica. <i>“La respiración celular en la oxidación completa de una molécula de glucosa, que se transforma, en presencia de O<sub>2</sub> en varias moléculas inorgánicas de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. En el proceso se libera energía” Víctor.</i>
<b>Respuestas Negativas</b>	Respiración de las células	Este código nos muestra las respuestas del alumnado en las que asemejan el proceso de ventilación al proceso catabólico. <i>“Es la respiración que se da en las células para que puedan vivir” Javier.</i>
	Intercambio de gases	Partiendo del error de asemejar la respiración celular a la ventilación pulmonar, este código recoge aquellas afirmaciones que señalan que el proceso respiratorio consiste en un intercambio gaseoso. Sirvan a modo de ejemplo estas dos explicaciones de alumnos:

	<p><i>“En la respiración celular se intercambia el oxígeno por dióxido de carbono” Dani</i></p> <p><i>“Existen dos tipos de respiraciones celulares la aerobia y la anaerobia. En todas ellas se produce un intercambio de gases” Sara.</i></p>
E_Respiración Cel.	<p>En este código se agrupan los errores que el alumno comete debidos fundamentalmente a desviaciones producidas en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Siendo principalmente de dos tipos: Los que confunden el proceso respiratorio con el fotosintético como por ejemplo Celia:</p> <p><i>“las plantas respiran mediante el proceso de la fotosíntesis absorbiendo dióxido de carbono y expulsando oxígeno”.</i></p> <p>Otros tipos:</p> <p><i>“La respiración celular aerobia es el proceso por el cual las células contienen oxígeno” Rocío.</i></p>

En la figura R-10 se observa como los alumnos de Aquaroca entienden que la Respiración Celular es un proceso que implica la oxidación de materia orgánica para obtener energía, en cambio, los del grupo Control, aunque manifiestan que es un proceso de oxidación, no indican que es para la obtención de energía, en cambio sí que confunden el proceso que se produce a nivel mitocondrial que requiere oxígeno y la consecuente producción de CO<sub>2</sub>, con el proceso de intercambio gaseoso que se produce a nivel pulmonar.



**Figura R- 10. Respuestas al concepto de Respiración Celular. En el gráfico se recogen los porcentajes de las diferentes respuestas dadas por el alumno para definir el concepto de Respiración Celular. En blanco se pueden apreciar las respuestas ofrecidas por el alumnado del Grupo Control y en verde las vertidas por el Grupo Aquaroca.**

En la tabla R-15 se puede observar que existe relación entre respuestas dadas por el alumnado tanto positivas ( $p < 0,01$ ) como negativas ( $p = 0,01$ ) con la metodología empleada.

La intensidad de la asociación entre las respuestas positivas del alumnado y la intervención y por tanto la metodología empleada, es moderada ( $V$  de Cramer=0,56 y Coeficiente de Contingencia=0,49,  $p < 0,05$ ). Lo mismo sucede con los datos de direccionalidad que señalan que podemos predecir solamente que el 50% de los casos que tengan respuestas positivas pertenecerán al grupo Aquaroca.

**Tabla R- 15. Tabla de Chi cuadrado para las respuestas ofrecidas por los dos grupos de alumnos para el concepto de Respiración Celular y analizadas con WebQDA.**

Tabla de Contingencia	Chi-cuadrado de Pearson		Lambda		V de Cramer	
	Valor	Sig. asintótica (2 caras)	Valor	Aprox. Sig.	Valor	Aprox. Sig.
Intervención * Respuestas positivas	12,56	< <b>0,01</b>	0,50	0,01	0,56	< <b>0,01</b>
Intervención * Obtención de Energía	19,26	< <b>0,01</b>	0,65	0,00	0,69	< <b>0,01</b>
Intervención * Respuestas negativas	8,50	<b>0,01</b>	0,35	0,21	0,46	<b>0,01</b>

Dentro de las respuestas positivas cabe mencionar la relacionada con la “Obtención de Energía”, en la cual existe asociación ( $\chi^2(3) 19,26, p<0,01$ ) y cuya intensidad es moderada-alta (V de Cramer=0,71 y Coeficiente de Contingencia=0,57,  $p<0,01$ ), así mismo, los datos de direccionalidad (Lambda=0,65) nos indican que el hecho de que el alumno señale que la obtención de Energía es una finalidad de la Respiración Celular depende de la intervención, en este caso del empleo del proyecto Aquaroca.

Por otro lado y aunque existe asociación entre las variables “Intervención” y “Respuestas Negativas”, como lo ha demostrado la prueba Chi cuadrado  $\chi^2(2)=8,50, p=0,01$ , la intensidad sin embargo es moderada-baja (V de Cramer=0,46 y Coeficiente de Contingencia=0,42,  $p=0,01$ ), así mismo, las medidas direccionales son bajas (lambda= 0,35) lo que nos indica que no podemos predecir que aquellos alumnos que cometen errores inducidos por el proceso de enseñanza-aprendizaje, se deba a una u otra intervención.

En la Tabla R-16 y en la figura R-11 que origina, se muestran la cantidad de respuestas positivas que tienen los alumnos en función del grupo al que pertenezcan para el concepto de Respiración Celular. Parecen indicar que el alumnado del grupo Aquaroca no solo presenta un mayor número, sino que las respuestas que ofrecen al concepto estudiado son más completas. Esta idea se pone de manifiesto en la tabla R-16.

**Tabla R- 16. Respuestas positivas ofrecidas por los dos grupos de alumnos para el concepto de Respiración Celular.**

		Respuestas positivas*Intervención	
		Intervención Control	Aquaroca
0 Respuestas positivas	Recuento	6	0
	% dentro de Intervención	30 %	0 %
1 Respuestas positivas	Recuento	10	6
	% dentro de Intervención	50 %	30 %
2 Respuestas positivas	Recuento	4	14
	% dentro de Intervención	15 %	50 %
Total	Recuento	20	20
	% dentro de Intervención	100 %	100 %



**Figura R- 11. Respuestas Positivas al concepto de Respiración Celular. La figura recoge (en blanco) los aciertos del grupo Control frente a los aciertos del grupo Aquaroca (en verde) en la definición del concepto de Respiración Celular (RC).**

Previamente a la realización de las pruebas se hace necesario la realización de las pruebas de normalidad. Dado que la prueba de Shapiro-Wilk arroja un  $p < 0,01$  debemos emplear una prueba no paramétrica para comprobar si es significativa la diferencia que parece mostrarse en la gráfica.

Para contrastar los resultados obtenidos para el concepto de Metabolismo por los dos grupos emplearemos la U de Mann-Whitney.

**Tabla R- 17. Prueba U de Mann-Whitney para la variable " Respuestas Positivas de la Respiración Celular".**

<b>Rangos</b>				
	Intervención	N	Rango promedio	Suma de rangos
TOTAL (agrupado)	Control	20	14,55	291,00
	Aquaroca	20	26.45	529,00
	Total	40		

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>	
	TOTAL (agrupado)
U de Mann-Whitney	81,00
W de Wilcoxon	291,00
Z	-3,40
Sig. asintótica (bilateral)	<b>&lt;0,01</b>
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	0,00

a. Variable de agrupación: Intervención

La prueba de Mann-Whitney para muestras independientes confirma la impresión ofrecida por la gráfica de barras (tabla R-17) y, por tanto, que existe una diferencia significativa entre ambos grupos ( $p < 0,01$ ), siendo los alumnos de Aquaroca los que ofrecen un mayor número de respuestas positivas y, por tanto, presentan unas definiciones más abundantes.



### 5.2.2 Redes Pathfinder Respiración Celular

En todas las redes obtenidas para el concepto estudiado se considera como concepto nuclear la obtención de energía, siendo los términos de nutrición, respiración y respiración celular considerados también claves como se puede comprobar en la tabla R-18.

*Tabla R- 18. Tipología de conceptos en las Redes Medias para el concepto de Respiración Celular.*

<b>Concepto</b>	<b>Grupo Control</b>	<b>Grupo Aquaroca</b>	<b>Red Ciencia</b>	<b>Red Profesores</b>	<b>Red Profesor</b>
<b>Metabolismo</b>	Nodo Polar	Nodo Polar	Concepto Nuclear	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear
<b>Energía</b>	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear
<b>Fermentación</b>	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Nodo Extremidad	Nodo Polar
<b>Respiración Celular</b>	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Nodo Polar	Concepto Nuclear
<b>Respiración</b>	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear
<b>Glúcidos</b>	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Nodo Polar	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear
<b>Nutrición</b>	Concepto Nuclear	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear	Nodo Polar	Concepto Nuclear
<b>Oxígeno</b>	Concepto Nuclear	Nodo Polar	Nodo Polar	Nodo Polar	Concepto Nuclear
<b>Dióxido de Carbono</b>	Nodo Polar	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear	Nodo Polar	Concepto Nuclear
<b>Intercambio Gaseoso</b>	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Concepto Nuclear	Nodo Polar
<b>Alimentación</b>	Nodo Polar	Concepto Nuclear	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Concepto Nuclear

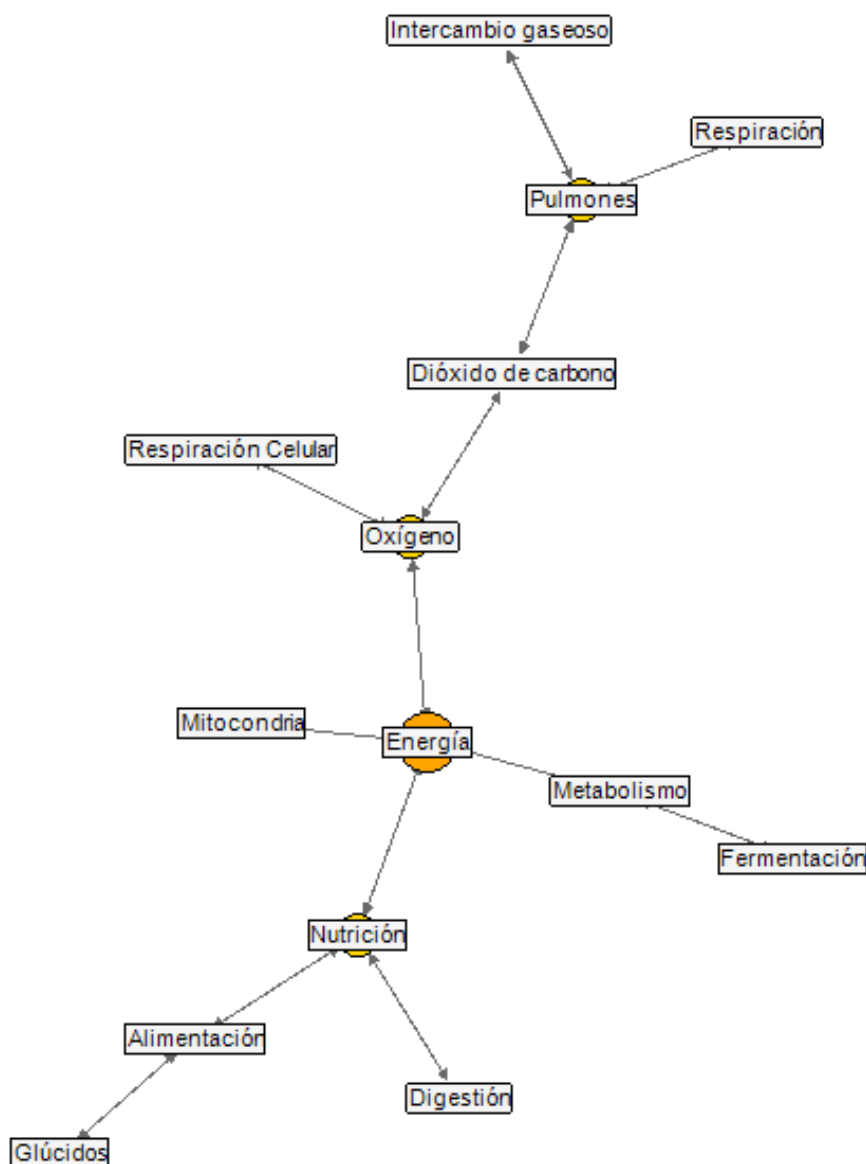
<b>Mitocondria</b>	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Nodo Polar
<b>Pulmones</b>	Concepto Nuclear	Nodo Polar	Concepto Nuclear	Nodo Polar	Concepto Nuclear
<b>Digestión</b>	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear

En las siguientes redes asociativas, se puede apreciar en amarillo, los conceptos nucleares tanto de alumnos, profesores y libros de texto para el término Respiración Celular.

Si observamos todas las redes (ver tabla R-18 de tipología de conceptos), se puede observar que el término “Energía” es considerado como concepto nuclear, es decir, que se establece que la Respiración Celular, es un proceso de obtención de energía.

Más adelante, también se puede apreciar en las Redes Medias de alumnos y profesores (figuras R-12, R-13 y R-15), aunque con un carácter más marcado en los dos grupos de alumnos, la separación que establecen entre Respiración, en el sentido de ventilación pulmonar y Respiración Celular como proceso de obtención de energía. En una tercera división se encontraría el concepto de Nutrición que se asocia más a la alimentación y procesos digestivos.

### 5.2.2.1 Red Media Grupo Control

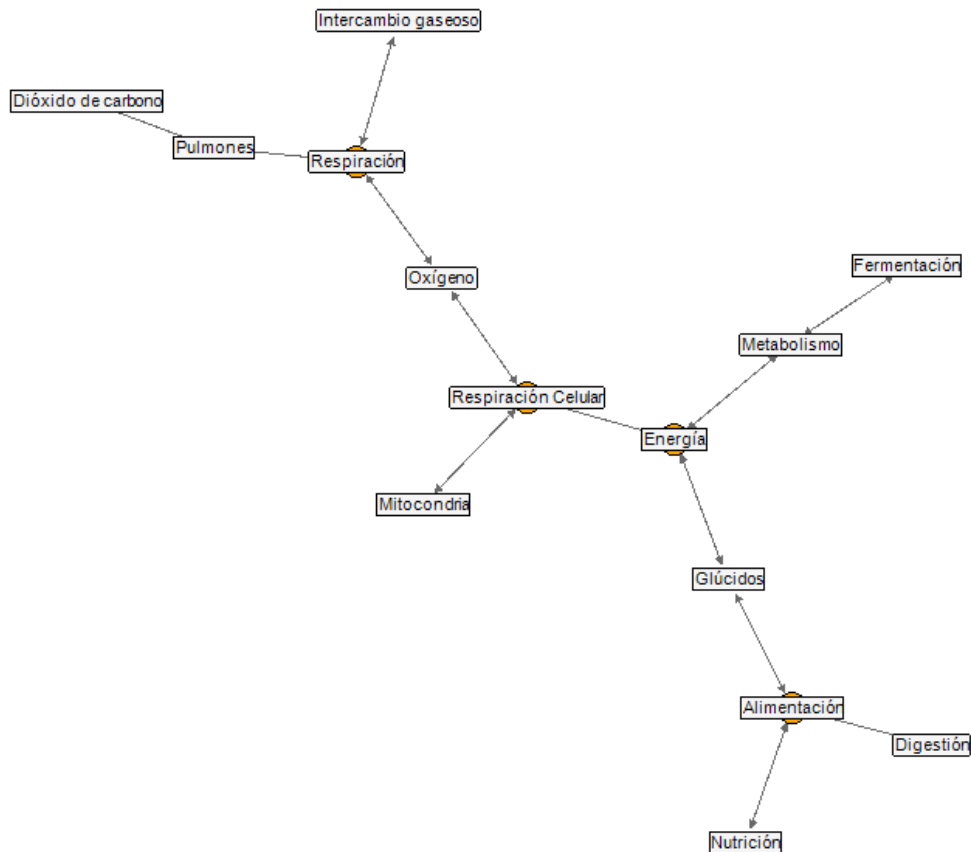


**Figura R- 12. RAP 6. Red Media del Grupo Control para el concepto de Respiración Celular.**

En la Red media de los alumnos del Grupo Control se puede observar cómo el concepto de Respiración Celular y otros relacionados con los procesos metabólicos no están bien integrados en la estructura cognitiva del alumnado. Siendo el concepto de Energía vinculado con procesos de nutrición y de obtención de oxígeno. En la tabla R-18 se recoge la tipología de los conceptos

estudiados para las distintas redes, en la que se muestra como estos tres últimos conceptos son reconocidos por el grupo Control como nucleares.

### 5.2.2.2 Red Media Grupo Aquaroca



**Figura R- 13. RAP 7. Red Media obtenida para el Grupo Aquaroca y para el concepto de Respiración Celular.**

Los alumnos del grupo Aquaroca, integran muy bien los procesos fisiológicos de la respiración y de la alimentación con el concepto de Respiración celular a través de la obtención de oxígeno y de glúcidos respectivamente, siendo la obtención de energía el fin de la Respiración Celular a través de la oxidación de glúcidos. En este sentido, se aprecian nítidamente tres fracciones en su estructura cognitiva correspondiendo la central a los procesos metabólicos que serían el enlace para los otros procesos más de tipo fisiológico.

Para contrastar la complejidad de las redes elaboradas por ambos grupos tras el proceso de instrucción se midieron las diferencias entre el número de nodos nucleares que presentaron, así como la densidad y complejidad de las redes formadas, lo cual queda recogido en las tablas R-19 y R-20.

**Tabla R- 19 Datos de complejidad estructural y densidad de las redes y número de conceptos nucleares propuestos por los alumnos del grupo CONTROL para el concepto de Respiración Celular.**

<b>Grupo</b>	<b>Alumno</b>	<b>Conceptos Nucleares</b>	<b>Densidad Red</b>	<b>I.C.R. Estructural</b>
<i>CONTROL</i>	C1	2	0,14	1,01
	C2	4	0,16	3,62
	C3	9	0,27	40,76
	C4	8	0,30	42,85
	C5	4	0,15	3,62
	C6	5	0,16	5,50
	C7	9	0,22	24,07
	C8	6	0,23	15,22
	C9	5	0,20	7,76
	C10	11	0,31	66,42
	C11	4	0,18	4,42
	C12	4	0,16	3,11
	C13	6	0,20	10,25
	C14	6	0,20	12,11
	C15	5	0,16	5,82
	C16	6	0,20	10,71
	C17	8	0,23	24,63
	C18	4	0,16	3,62
	C19	12	0,34	94,66
	C20	10	0,23	31,70
	Media	6	0,21	21

A simple vista se puede observar que entre las tablas R-19 y R-20 se establece una diferencia de complejidad a favor de las redes del alumnado que recibió la metodología Aquaroca, lo que podría estar indicando una mayor capacidad para interrelacionar los términos propuestos y por tanto generar una estructura mental más compleja.

**Tabla R- 20. Datos de complejidad estructural y densidad de las redes y número de conceptos nucleares propuestos por los alumnos del grupo AQUAROCA para el concepto de Respiración Celular.**

<b>Grupo</b>	<b>Alumno</b>	<b>Conceptos Nucleares</b>	<b>Densidad Red</b>	<b>I.C.R. Estructural</b>
<b>AQUAROCA</b>	A1	10	0,31	60,38
	A2	12	0,37	116,14
	A3	10	0,26	44,51
	A4	6	0,22	13,46
	A5	11	0,29	59,21
	A6	9	0,24	30,74
	A7	5	0,20	8,15
	A8	11	0,30	64,05
	A9	11	0,24	41,75
	A10	5	0,18	6,21
	A11	13	0,43	166,18
	A12	5	0,18	6,56
	A13	13	0,31	84,77
	A14	9	0,26	36,33
	A15	5	0,18	6,56
	A16	13	0,48	212,16
	A17	9	0,37	77,86
	A18	7	0,18	11,11
	A19	14	0,53	278,23
	A20	12	0,34	94,66
	<b>Media</b>	<b>10</b>	<b>0,29</b>	<b>71</b>

Para estudiar si existen diferencias significativas entre ambos grupos, se comprueba la normalidad de las variables estudiadas. En este caso las tres variables objeto de estudio no se distribuyen normalmente ya que la prueba de Shapiro-Wilk presenta un  $p < 0,05$  por lo que deberemos emplear pruebas no paramétricas.

Se utilizará para el contraste la Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes (tabla R-21).

**Tabla R- 21. Prueba U de Mann-Whitney para las variables “Conceptos Nucleares”, “Densidad de la Red” e “I.C.R.”.**

<b>Rangos</b>				
	Grupo	N	Rango promedio	Suma de rangos
Conceptos Nucleares	Control	20	14,93	298,50
	Aquaroca	20	26,08	521,50
Densidad	Control	20	14,80	296
	Aquaroca	20	26,20	524
ICR	Control	20	14,80	296
	Aquaroca	20	26,20	524
	Total	40		

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>			
	Conceptos Nucleares	Densidad	ICR
U de Mann-Whitney	88,5	86	86
W de Wilcoxon	298,5	296	296
Z	-3,04	-3,09	-3,09
Sig. asintótica (bilateral)	<b>&lt;0,01</b>	<b>&lt;0,01</b>	<b>&lt;0,01</b>
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	0,00 <sup>b</sup>	0,00 <sup>b</sup>	0,00 <sup>b</sup>

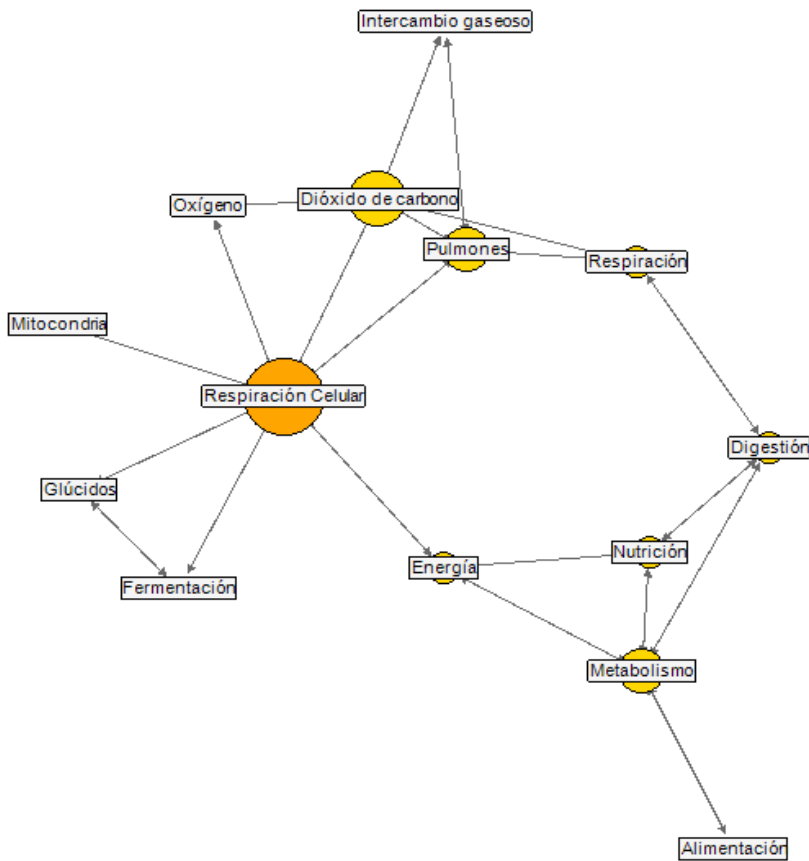
a. Variable de agrupación: Grupo

b. No corregido para empates.

En los tres casos podemos descartar la hipótesis nula ya que tenemos un  $p < 0,01$  (tabla R-21) y por tanto asumir, que los alumnos del grupo Aquaroca,

forman redes más complejas y densas y con más conceptos nucleares y por ende asimilados en su estructura cognitiva, que los alumnos del grupo Control.

### 5.2.2.3 Red de la Ciencia

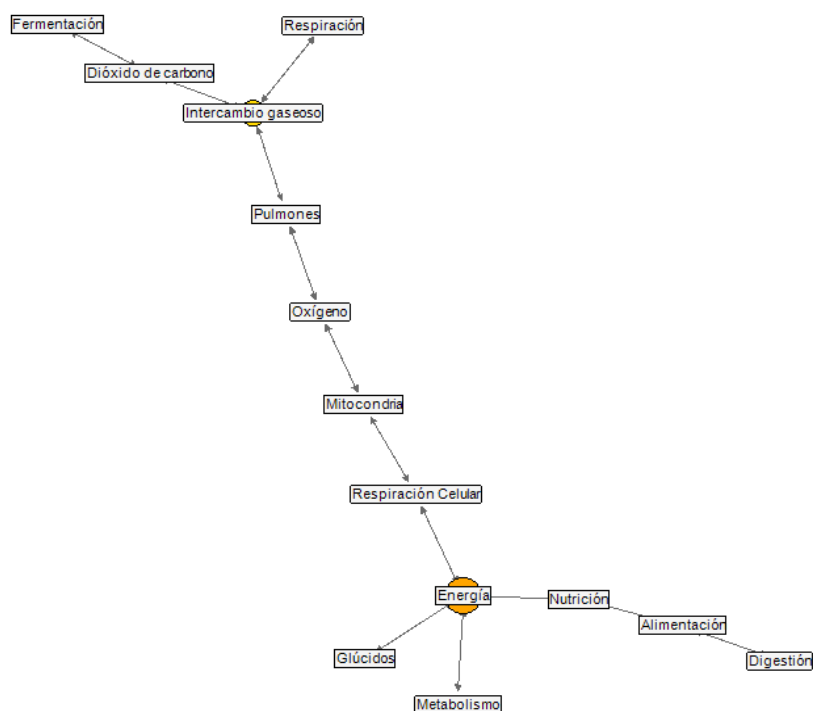


**Figura R- 14. RAP 8. Red de la Ciencia para el concepto de Respiración Celular. Red Asociativa Pathfinder obtenida de los libros de texto de 1º de Bachillerato para el concepto de Respiración Celular.**

En la red obtenida de los libros de texto (fig. R-14), la respiración celular más que como proceso productor de energía, se presenta como la reacción química que produce el CO<sub>2</sub> que es liberado al exterior a través de los pulmones, lo que conecta el proceso metabólico con el fisiológico de la respiración como parte de la función de nutrición. Sin embargo, aparecen como poco o nada significativos, los sustratos implicados en el proceso y el lugar donde sucede dentro de la célula.



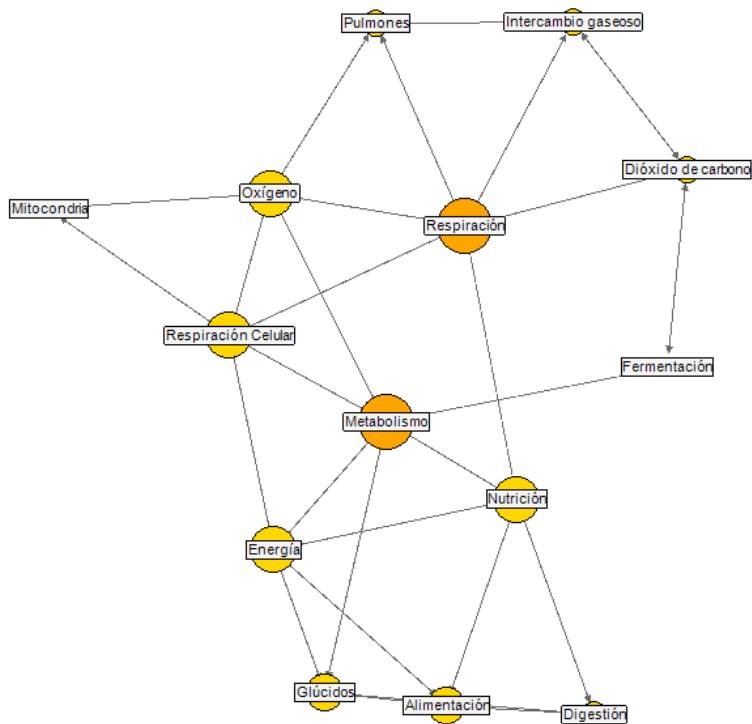
#### 5.2.2.4 Red Media de los profesores



**Figura R- 15. RAP 9. Red Media de los profesores para el concepto Respiración Celular.**

La red de los profesores (Figura R-15) presenta como conceptos nucleares la “Energía” en torno al cual orbitan los conceptos metabólicos y en especial la Respiración Celular por un lado, y por otro los relacionados con la digestión. Mientras que el otro concepto nuclear “intercambio gaseoso” genera el bloque concerniente a la ventilación pulmonar. Es interesante observar como el conjunto de profesores entiende que existe una relación más fuerte entre el proceso fermentativo y la producción de dióxido de carbono que con los procesos metabólicos de obtención de energía. Esto sugiere que existe entre el propio profesorado diversidad de criterios a la hora de relacionar los diferentes procesos metabólicos y fisiológicos.

### 5.2.2.5 Red del Profesor



**Figura R- 16. RAP 10. Red Asociativa Pathfinder del docente que imparte el concepto de Respiración Celular.**

La red del profesor (Fig. R-16) que impartió docencia a los dos grupos estudiados, muestra como el docente entiende que la Respiración Celular, con el oxígeno de por medio, es el proceso que une la ventilación como fenómeno fisiológico de la función de nutrición con el metabolismo, pero también lo define como la fase del metabolismo necesaria para la obtención de energía a partir del procesamiento de los alimentos y en especial de los glúcidos.

Esta red además es bastante densa, dado el número de relaciones que se establecen entre los diversos conceptos, los cuales son considerados mayoritariamente nucleares (conceptos que establecen tres o más enlaces) como se puede apreciar en la tabla R-18.

Para contrastar si existen diferencias significativas en el proceso de aprendizaje de ambos grupos de alumnos en función de la metodología empleada, se estudiaron los índices de similaridad tanto con el profesor, como con los libros de texto (Red de la Ciencia), los datos obtenidos mediante el programa GOLUCA 3.1 se recogen en las tablas R-22 (grupo Control) y R-23 (Grupo Aquaroca).

En la tabla R-22 se aprecia que los valores de coherencia del alumnado del grupo Control son adecuados en general, exceptuando el caso del alumno C2 que revela la falta de atención del mismo a la hora de hacer la prueba. Por otro lado, también podemos observar como el índice de similaridad de redes para el grupo Control, parece mayor con la red del profesor que con la red de la Ciencia.

#### 5.2.2.6 Grupo Control Datos

*Tabla R- 22. Datos obtenidos para cada alumno del grupo CONTROL con el programa GOLUCA 3.1. Se recogen las Variables: “Coherencia”, “Índice de Similaridad con la Red del Profesor” e “Índice de Similaridad con la Red de la Ciencia” para el concepto de Respiración Celular.*

Grupo	Alumno	Coherencia	Índice	Índice
			Similaridad Profesor	Similaridad Ciencia
CONTROL	C1	0,67	0,30	0,06
	C2	0,18	0,18	0,16
	C3	0,70	0,38	0,18
	C4	0,65	0,20	0,33
	C5	0,62	0,39	0,17
	C6	0,63	0,37	0,24
	C7	0,80	0,36	0,28
	C8	0,57	0,31	0,35
	C9	0,67	0,47	0,18

	C10	0,41	0,33	0,40
	C11	0,60	0,39	0,12
	C12	0,70	0,35	0,29
	C13	0,61	0,48	0,26
	C14	0,69	0,35	0,30
	C15	0,40	0,30	0,20
	C16	0,73	0,53	0,26
	C17	0,69	0,36	0,31
	C18	0,77	0,30	0,20
	C19	0,69	0,51	0,30
	C20	0,32	0,17	0,20
	Media	0,61	0,35	0,24

En la tabla R-23 los valores de coherencia del alumnado del grupo Aquaroca son propicios en general, con la salvedad del alumno A9 que revela la falta de atención del mismo a la hora de hacer la prueba. Por otro lado, también podemos comprobar como el índice de similaridad de redes, al igual que sucedía para el grupo Control, parece ostensiblemente mayor entre los alumnos y el profesor que entre los alumnos y la red de la Ciencia.

#### 5.2.2.7 Grupo Aquaroca Datos

**Tabla R- 23. Datos obtenidos para cada alumno del grupo AQUAROCA con el programa GOLUCA 3.1. Se recogen las Variables: “Coherencia”, “Índice de Similaridad con la Red del Profesor” e “Índice de Similaridad con la Red de la Ciencia” para el concepto de Respiración Celular.**

Grupo	Alumno	Coherencia	Índice Similaridad Profesor	Índice Similaridad Ciencia
AQUAROCA	A1	0,72	0,44	0,36
	A2	0,70	0,44	0,31
	A3	0,53	0,41	0,22
	A4	0,58	0,37	0,28
	A5	0,83	0,50	0,38

A6	0,61	0,32	0,23
A7	0,67	0,48	0,18
A8	0,78	0,45	0,30
A9	0,18	0,35	0,30
A10	0,44	0,29	0,28
A11	0,80	0,52	0,40
A12	0,65	0,29	0,23
A13	0,64	0,56	0,26
A14	0,72	0,49	0,36
A15	0,59	0,29	0,12
A16	0,42	0,38	0,30
A17	0,80	0,38	0,25
A18	0,64	0,47	0,19
A19	0,68	0,43	0,35
A20	0,71	0,40	0,30
Medias	0,63	0,41	0,28

Para estudiar, a la luz de las observaciones realizadas en las tablas R-22 y R-23, si existen diferencias significativas entre las Redes Asociativas de los grupos estudiados con la del profesor y la de la ciencia, se comprueba la normalidad de las variables estudiadas. En el caso de la variable “Coherencia”, no podemos asumir la normalidad debido a que la significación para el estadístico de Shapiro-Wilk muestra un  $p < 0,05$  que nos obliga a rechazar la hipótesis nula y por tanto a emplear la prueba de Mann-Whitney para esta variable (Tabla R-24).

En cambio, utilizaremos las pruebas paramétricas (Prueba T) para las variables “Similaridad Red Ciencia” y “Similaridad Profesor” ya que podemos asumir la normalidad de los datos, dada una significación para el estadístico de Shapiro-Wilk de  $p > 0,05$  (Tabla R-25).

**Tabla R- 24. Rangos obtenidos para la aplicación de la Prueba U de Mann-Whitney a la variable “Coherencia” para el concepto de Respiración Celular.**

<b>Rangos</b>				
	Grupo	N	Rango promedio	Suma de rangos
Coherencia	Control	20	19,20	384
	Aquaroca	20	21,80	436
	Total	40		

**Estadísticos de prueba<sup>a</sup>**

			Coherencia
U de Mann-Whitney			174
W de Wilcoxon			384
Z			-0,70
Sig. asintótica (bilateral)			0,48
Significación exacta	[2*(sig. unilateral)]		0,50

a. Variable de agrupación: Grupo

La prueba de Mann-Whitney nos indica que no existen diferencias significativas entre el nivel de atención del alumnado de ambos grupos a la hora de realizar el cuestionario  $p=0,48$ , lo cual indica que los resultados obtenidos se deben exclusivamente a la opinión del alumno.

Sin embargo, al aplicar las pruebas T de Student a las otras dos variables (Tabla R-25), sí que aparecen diferencias significativas entre el índice de similitud de los alumnos con el profesor dependiendo de la metodología empleada ( $p=0,04$ ), lo que indica que las redes asociativas del grupo Aquaroca, se parecen más a la red del profesor que las del grupo Control.

Por otro lado, y aunque los alumnos que pertenecen al grupo Aquaroca, parecen tener un mayor índice de similitud en sus redes con la Red de la Ciencia que los alumnos del grupo Control atendiendo a sus medias, las diferencias no se pueden considerar significativas ( $p=0,11$ ).

**Tabla R- 25. Prueba T de Student de muestras independientes, de las variables "Similaridad con la Red del Profesor" y "Similaridad con la Red de la Ciencia" para el concepto de Respiración Celular.**

<b>Estadísticas de grupo</b>					
	Grupo	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Similaridad Profesor	Control	20	0,35	0,10	0,02
	Aquaroca	20	0,41	0,08	0,02
Similaridad Red Ciencia	Control	20	0,24	0,08	0,02
	Aquaroca	20	0,28	0,07	0,02

<b>Prueba de muestras independientes</b>					
	Prueba de Levene de calidad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias		
	F	Sig.	T	gl	Sig. (bilateral)
Similaridad Profesor	0,19	0,67	-2,13	38	<b>0,04</b>
Similaridad Red Ciencia	0,77	0,39	-1,63	38	0,11

Los datos recogidos nos sugieren el gran efecto que produce el profesor sobre el aprendizaje del alumnado, ya que encontramos diferencias significativas para ambos grupos.

En la siguiente tabla (R-26), se puede advertir que tanto para el grupo Control como para Aquaroca, hay un mayor parecido de sus redes medias con la red del profesor que con la de la Ciencia, siendo un  $p < 0,01$  en ambos casos.

**Tabla R- 26. T de Student de muestras dependientes, de las variables "Similaridad con la Red del Profesor" y "Similaridad con la Red de la Ciencia" para los grupos CONTROL y AQUAROCA en el estudio del concepto de Respiración Celular.**

<b>Estadísticas de muestras emparejadas</b>					
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
<b>Control</b>	Similaridad profesor	0,35	20	0,10	0,02
	Similaridad Red Ciencia	0,24	20	0,08	0,02
<b>Aquaroca</b>	Similaridad profesor	0,41	20	0,08	0,02
	Similaridad Red Ciencia	0,28	20	0,07	0,02

		<b>Diferencias emparejadas</b>			T	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar			
<b>Control</b>	Similaridad profesor - Similaridad Red Ciencia	0,11	0,13	0,03	4,05	19	<b>&lt;0,01</b>
<b>Aquaroca</b>	Similaridad profesor - Similaridad Red Ciencia	0,13	0,08	0,02	7,50	19	<b>&lt;0,01</b>



### 5.2.3 Cuestionario Respiración Celular

La fiabilidad del cuestionario es buena con un valor de alfa de Cronbach mayor a 0,8, como se puede comprobar en la tabla R-27 que se muestra a continuación.

**Tabla R- 27. Estadísticas de Fiabilidad del Cuestionario sobre la Respiración Celular. Resumen del procesamiento de casos. Alfa de Cronbach.**

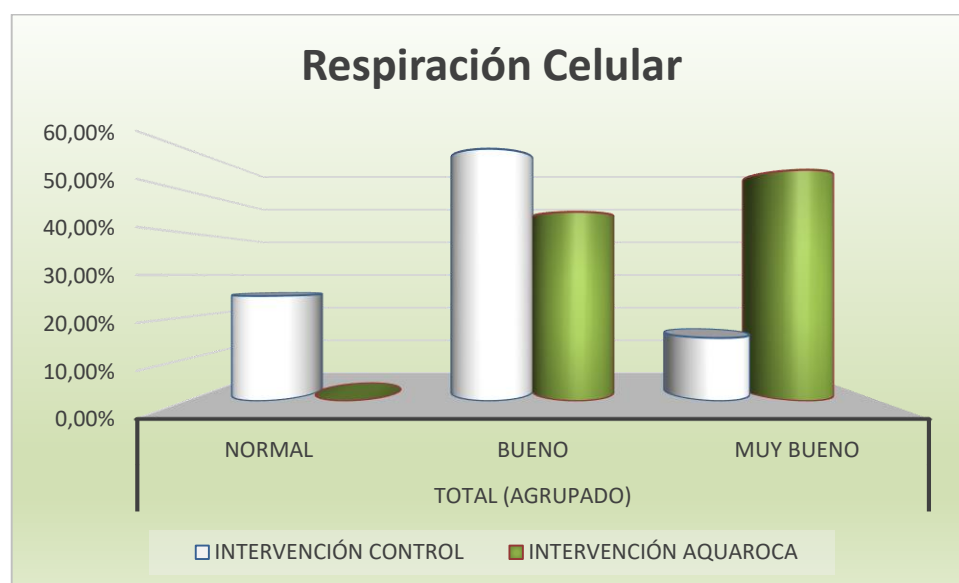
<b>Resumen de procesamiento de casos</b>			
		N	%
Casos	Válido	40	100
	Excluido	0	0
	Total	40	100
<b>Estadísticas de fiabilidad</b>			
Alfa de Cronbach		N de elementos	
0,83		23	

Los puntajes obtenidos de la agrupación de los resultados se pueden clasificar en normales, buenos y muy buenos como se recogen en la siguiente tabla (Tabla R-28).

**Tabla R- 28. Puntaje total agrupado del cuestionario de Respiración Celular, en función de la intervención realizada.**

<b>Total (agrupado)* Intervención</b>				
			<b>INTERVENCIÓN</b>	
			Control	Aquaroca
Total (agrupado)	NORMAL	Recuento	5	0
		% dentro de Intervención	25,0%	0,0%
	BUENO	Recuento	12	9
		% dentro de Intervención	60,0%	45,0%
	MUY BUENO	Recuento	3	11
		% dentro de Intervención	15,0%	55,0%
Total		Recuento	20	20
		% dentro de Intervención	100,0%	100,0%

Tanto en la tabla anterior (Tabla R-28) como en la figura siguiente (Figura R-17) parece apreciarse una respuesta más positiva para el concepto de Respiración Celular de los alumnos del grupo Aquaroca. Para evidenciar si la diferencia es realmente significativa se comprueba en primer lugar si la muestra se ajusta a una distribución normal.



**Figura R- 17. Resultados del cuestionario de Respiración Celular. Porcentaje de alumnos que obtienen puntajes normales, buenos o muy buenos en el cuestionario de Respiración Celular. En blanco los valores obtenidos para el grupo Control y en verde para el grupo Aquaroca.**

La prueba de Shapiro-Wilk nos hace rechazar la hipótesis nula ( $p < 0,05$ ) y por tanto el supuesto de normalidad, por lo que deberemos emplear pruebas no Paramétricas.

En la tabla R-29 se recogen los datos obtenidos para la U de Mann-Whitney, que nos indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) en el aprendizaje de los alumnos del concepto de Respiración Celular, dependiendo del proceso metodológico empleado, siendo más favorable la utilización del proyecto Aquaroca.

**Tabla R- 29. Prueba U de Mann-Whitney para la variable "Total agrupada" del cuestionario de Respiración Celular.**

<b>Rangos</b>				
	Intervención	N	Rango promedio	Suma de rangos
TOTAL (agrupado)	Control	20	15,38	307,50
	Aquaroca	20	25,63	512,50
	Total	40		
<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>				
	TOTAL (agrupado)			
U de Mann-Whitney	97,50			
W de Wilcoxon	307,50			
Z	-3,08			
Sig. asintótica (bilateral)	<b>&lt;0,01</b>			
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	0,01			
a. Variable de agrupación: INTERVENCIÓN				

Todos los datos recogidos para el concepto de Respiración Celular, tanto cualitativos como cuantitativos sugieren que el alumnado del grupo Aquaroca obtiene mejores resultados que el grupo Control.

## 5.3 Fermentación

### 5.3.1 Datos WEBQDA

De los textos de los alumnos recogidos mediante el cuestionario de preguntas abiertas, se obtuvieron mediante el software WebQDA los siguientes códigos para la categoría “Fermentación”.

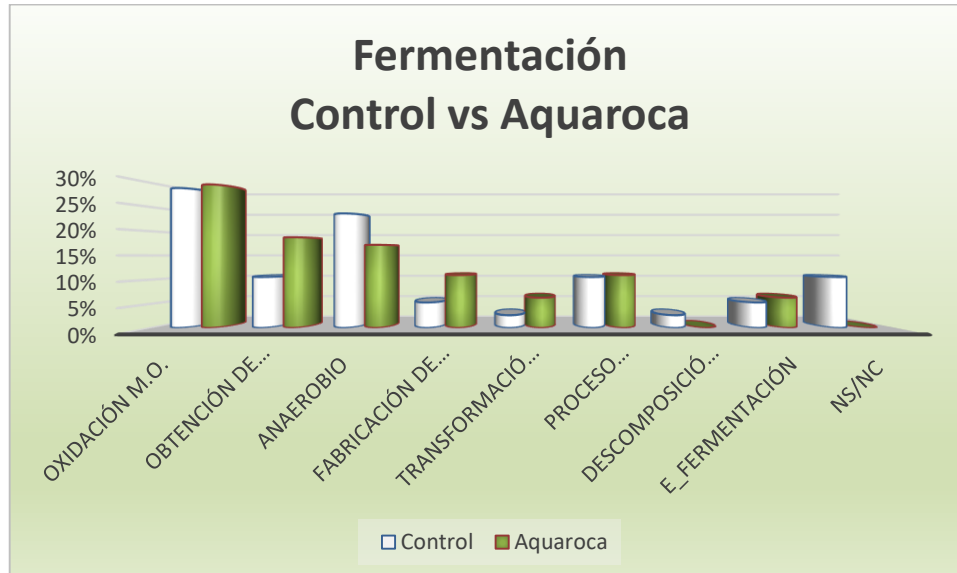
#### Categoría: Fermentación

	Códigos	Descripción
<b>Respuestas Positivas</b>	Oxidación M.O.	El proceso fermentativo enfocado como un proceso Redox, en el que se transforman moléculas orgánicas complejas en otras más simples, aunque susceptibles todavía de ser oxidadas. <i>“La fermentación es la oxidación parcial de la Materia Orgánica” Marina.</i>
	Obtención de Energía	En este código se recogen todas las referencias que señalan a la fermentación como proceso para la obtención de energía. <i>“Proceso anaeróbico (sin oxígeno), que consiste en la oxidación parcial de la glucosa, no se obtiene mucha energía” Rocío.</i>
	Anaerobio	Proceso catabólico que se produce en ausencia de Oxígeno. Explicado por José Manuel: <i>“La fermentación es un proceso catabólico de oxidación incompleta, que no requiere oxígeno, y cuyo producto final es un compuesto orgánico”.</i>
	Fabricación de Alimentos	En este código se engloban todas las respuestas que el alumno da referidas al concepto de fermentación desde el punto de vista industrial. Sara por ejemplo nos dice:

		<p><i>“Las fermentaciones nos ayudan a crear muchos de los alimentos que los humanos suelen consumir diariamente o casi diariamente como son: el pan, el queso, el vino,...”</i></p>
	Transformación sustancias	<p>Se refiere a los procesos que implican una transformación de moléculas más complejas en otras más sencillas. A modo de ejemplo Guadalupe nos dice que:</p> <p><i>“Fermentación es el conjunto de reacciones que se producen en la célula mediante la cual se transforman moléculas orgánicas en otras más sencillas”.</i></p>
	Proceso Microbiano	<p>Código que hace referencia a los procesos vitales, fundamentalmente de tipo bacteriano o de levaduras, aunque sin olvidar células de organismos superiores, que producen energía para el organismo. En palabras de Rocío P.</p> <p><i>“Es llevada a cabo por microorganismos que no toleran el oxígeno o por ciertas células animales o vegetales cuando no tienen suficiente oxígeno”.</i></p>
<b>Respuestas Negativas</b>	Descomposición de alimentos	<p>Este código nos muestra las respuestas del alumnado en el que relacionan las fermentaciones como algo negativo que estropea los alimentos debido fundamentalmente a la aparición de organismos que lo estropean.</p> <p><i>“Algo esta fermentado cuando se pudre o está en mal estado” Dani.</i></p> <p><i>“proceso en el cual se crea una bacteria en este caso hongos, en un alimento que tiene ya demasiado tiempo, es decir, está caducado” Celia.</i></p>

E_fermentación	En este código se agrupan los errores que el alumno comete debidos fundamentalmente a desviaciones producidas en el proceso de enseñanza-aprendizaje. <i>“La fermentación se produce con la obtención de oxígeno” Elia.</i>
NS/NC	Código que reúne todas las respuestas en blanco del alumnado.

En la figura R-18 se puede comprobar cómo el alumnado de ambos grupos define la fermentación como un proceso de oxidación parcial de la materia orgánica, sin embargo, mientras que los pertenecientes al grupo Control ponen mayor énfasis en que se trata un proceso anaerobio, los pertenecientes al grupo Aquaroca lo hacen en la finalidad del mismo y por tanto en la obtención de energía por parte del ser vivo.



**Figura R- 18. Respuestas al concepto de Fermentación.** En el gráfico se recogen los porcentajes de las diferentes respuestas dadas por el alumno para definir el concepto de Fermentación. En blanco se pueden apreciar las respuestas ofrecidas por el alumnado del Grupo Control y en verde las vertidas por el Grupo Aquaroca.

La tabla R-30 nos presenta los valores de Chi cuadrado para las respuestas recogidas en la figura anterior (R-18). En ella se prueba que existe una asociación estadísticamente significativa entre que metodología se emplea y las respuestas positivas dadas para el concepto Fermentación  $\chi^2_{(3)} = 13,03$ ,  $p=0,01$ . Dicha relación es significativa pero moderada (V de Cramer=0,57,  $p=0,01$ ) como lo corrobora también el coeficiente de contingencia (Coeficiente=0,50,  $p=0,01$ ).

Así mismo, podemos indicar con los datos de direccionalidad ( $\lambda=0,50$ ,  $p<0,01$ ) que es más probable que sea un alumno perteneciente al grupo Aquaroca el que dé una respuesta positiva.

**Tabla R- 30. Tabla de Chi cuadrado para las respuestas ofrecidas por los dos grupos de alumnos para el concepto de Fermentación y analizadas con WebQDA.**

Tabla de Contingencia	Chi-cuadrado de Pearson		Lambda		V de Cramer	
	Valor	Sig. asintótica (2 caras)	Valor	Aprox. Sig.	Valor	Aprox. Sig.
Intervención * Respuestas positivas	13,03	<b>0,01</b>	0,50	<0,01	0,57	0,01
Intervención * Respuestas negativas	1,13a	0,29	-	-	-	-

a. 0 casillas (0,0%) han esperado un recuento menor que 5.

Por otro lado, en la Tabla R-31 y en el gráfico representado por la figura R-19, se señalan la cantidad de respuestas correctas que tienen los alumnos en función del grupo al que pertenezcan para el concepto de Fermentación.

**Tabla R- 31. Respuestas positivas ofrecidas por los dos grupos de alumnos para el concepto de Fermentación.**

		Intervención	
		Control	Aquaroca
0 Respuestas positivas	Recuento	4	0
	% dentro de Intervención	20,0%	0,0%
1 Respuesta positiva	Recuento	3	1
	% dentro de Intervención	15,0%	5,0%
2 Respuestas positivas	Recuento	11	7
	% dentro de Intervención	55,0%	35,0%
3 Respuestas positivas o más	Recuento	2	12
	% dentro de Intervención	10,0%	60,0%
Total	Recuento	20	20
	% dentro de Intervención	100 %	100 %

A la luz de estos datos parece asumible pensar que el alumnado del grupo Aquaroca produce respuestas más completas para el concepto de fermentación que los del grupo Control, como podemos observar en la figura R-19.



**Figura R- 19. Respuestas positivas al concepto de Fermentación. Cantidad de Respuestas positivas que facilita el alumnado para el concepto de fermentación.**

Dado que la distribución no se puede considerar normal (prueba de Shapiro-Wilk con un  $p < 0,05$ ), emplearemos la prueba de U-Mann Whitney para



comprobar si las diferencias que se manifiestan en el gráfico son o no significativas.

La prueba de Mann-Whitney (Tabla R-32) nos indica que existen diferencias significativas entre los dos grupos  $p < 0,01$ , lo que confirma las diferencias expuestas en el gráfico y por tanto que las respuestas dadas por el alumnado del grupo Aquaroca son más ricas que las del grupo Control.

**Tabla R- 32. Rangos prueba U de Mann-Whitney para la variable "Respuestas Positivas al concepto de Fermentación".**

<b>Rangos</b>				
	Intervención	N	Rango promedio	Suma de rangos
TOTAL (agrupado)	Control	20	14,45	289
	Aquaroca	20	26,55	531
	Total	40		

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>	
	TOTAL (agrupado)
U de Mann-Whitney	79
W de Wilcoxon	289
Z	-3,52
Sig. asintótica (bilateral)	<b>&lt;0,01</b>
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	0,00

a. Variable de agrupación: INTERVENCIÓN

### 5.3.2 Redes Pathfinder Fermentación

En la tabla que recoge la tipología de los conceptos para todas las redes estudiadas (tabla R-33), nuevamente se puede observar que el término “Energía” es considerado como concepto nuclear en todas las redes y, por tanto, podemos también indicar que la Fermentación es un proceso de obtención de energía, lo cual coincide con su definición puramente bioquímica.

Por otro lado, si no tenemos en cuenta los libros de texto, también se puede apreciar que la Fermentación se considera un proceso muy relacionado con la Alimentación- Nutrición, lo que lo asocia con la vertiente industrial del término.

También se puede apreciar que mientras las Redes Medias de profesores (Fig. R-23), Red de la Ciencia (Fig. R-22) y del profesor (Fig. R-24) consideran que el concepto fermentación también es nuclear, las redes de los alumnos de ambos grupos la consideran (ver tabla R-33) un nodo extremidad, lo que parece revelar que el concepto de Fermentación es bastante complicado de asentar en las estructuras cognitivas.

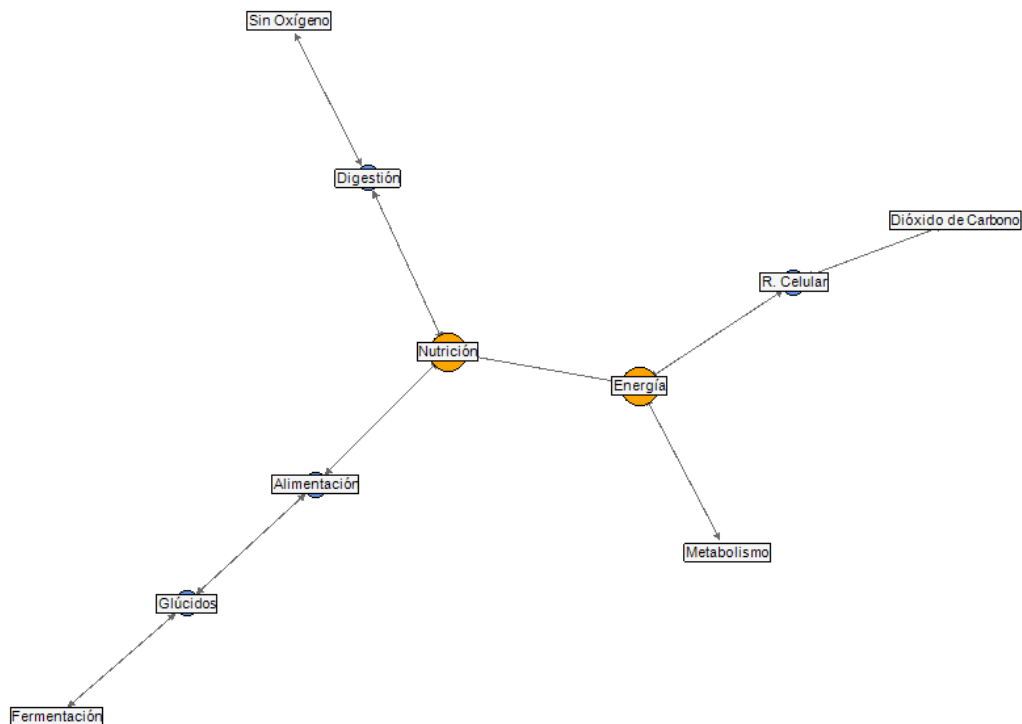
*Tabla R- 33. Tipología de conceptos en las Redes Medias para el concepto de Fermentación.*

<b>Concepto</b>	<b>Grupo Control</b>	<b>Grupo Aquaroca</b>	<b>Red Ciencia</b>	<b>Red Profesores</b>	<b>Red Profesor</b>
<b>Metabolismo</b>	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Concepto Nuclear	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear
<b>Energía</b>	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear
<b>Fermentación</b>	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear

<b>Alimentación</b>	Nodo Polar	Concepto Nuclear	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Concepto Nuclear
<b>Respiración Celular</b>	Nodo Polar	Nodo Polar	Concepto Nuclear	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear
<b>Glúcidos</b>	Nodo Polar	Nodo Polar	Concepto Nuclear	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear
<b>Digestión</b>	Nodo Polar	Nodo Polar	Nodo Polar	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear
<b>Nutrición</b>	Concepto Nuclear	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear
<b>Sin Oxígeno</b>	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad
<b>Dióxido de Carbono</b>	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear

En las redes asociativas que a continuación se exponen (RAP 11 a RAP15), se distinguen en amarillo, los conceptos nucleares obtenidos para el término Fermentación.

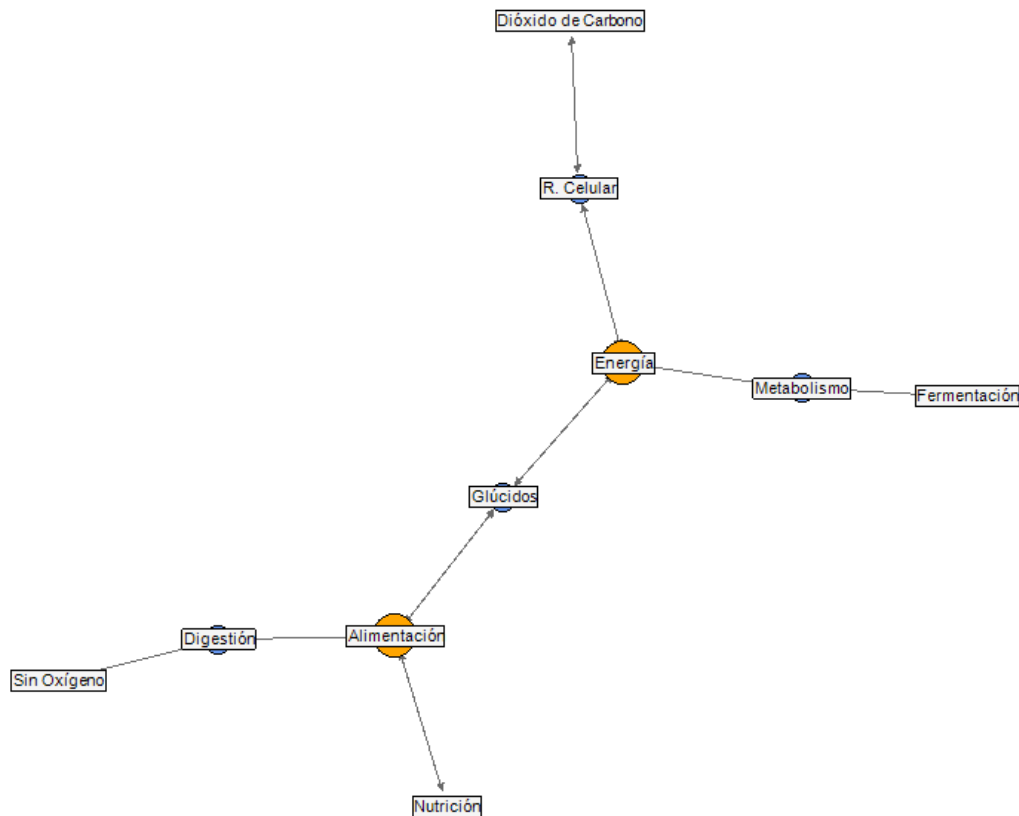
### 5.3.2.1 Red Media Grupo Control



**Figura R- 20. RAP 11.Red Asociativa Pathfinder media del grupo Control para el concepto de Fermentación.**

En la Red media del grupo Control (RAP 11), se puede apreciar como el concepto “Fermentación” no está integrado dentro de la estructura de aprendizaje del alumnado, pues no aparece como concepto nuclear sino como un nodo extremidad, incluso alejado de los términos relacionados con el metabolismo. Se comprueba, lo poco cercano que resulta este concepto al alumnado y siempre más relacionado con la línea de la alimentación. En este caso se evidencia también como los nodos nucleares son la “Nutrición” que englobaría todos los procesos fisiológicos y entre ellos muy desubicado el de “Fermentación” y el de “Energía” que aglutina los procesos metabólicos.

### 5.3.2.2 Red Media Grupo Aquaroca



**Figura R- 21. RAP 12. Red Asociativa Pathfinder media del grupo Aquaroca para el término Fermentación.**

La red media del alumnado Aquaroca aunque también presenta la Fermentación como un nodo extremidad, sí que sitúa el concepto más cerca de los términos que pertenecen al campo semántico del Metabolismo, pudiéndose apreciar como el concepto nuclear “Energía”, englobaría a los conceptos relacionados con dicho campo. En cambio, el otro concepto nuclear “Alimentación”, se rodearía de aquellos términos próximos a los procesos fisiológicos, siendo el nexo de unión entre ambos dominios el nodo polar “Glúcidos”.

Para contrastar la complejidad de las redes elaboradas por ambos grupos tras el proceso de instrucción se compararon las diferencias entre el número de

nodos nucleares que presentaron, así como la densidad y complejidad de las redes formadas, lo cual queda recogidos en las tablas R-34 y R-35.

**Tabla R- 34 Datos de complejidad estructural y densidad de las redes y número de conceptos nucleares propuestos por los alumnos del grupo CONTROL para el concepto de Fermentación.**

<b>Grupo</b>	<b>Alumno</b>	<b>Conceptos Nucleares</b>	<b>Densidad Red</b>	<b>I.C.R. Estructural</b>
<b>CONTROL</b>	C1	2	0,20	2,67
	C2	3	0,22	7,41
	C3	4	0,24	13,04
	C4	1	0,24	2,17
	C5	3	0,24	9,78
	C6	2	0,20	3,11
	C7	1	0,22	1,23
	C8	2	0,22	3,46
	C9	2	0,24	4,89
	C10	7	0,36	77,43
	C11	4	0,27	16,59
	C12	2	0,20	3,11
	C13	2	0,22	3,95
	C14	7	0,33	64,81
	C15	1	0,22	1,48
	C16	3	0,24	8,96
	C17	3	0,24	8,96
	C18	2	0,20	2,67
	C19	2	0,20	3,11
	C20	5	0,29	28,89
	<b>Media</b>	<b>3</b>	<b>0,24</b>	<b>13,39</b>

La tabla R-34 refleja los datos extraídos de las redes generadas por los alumnos del Grupo Control para las variables número de conceptos nucleares, densidad y complejidad, para el concepto de Fermentación. Si se comparan los

valores promedios de estas variables con los obtenidos por el grupo Aquaroca, que se encuentran representados en la tabla R-35, se aprecia una mayor complejidad en las estructuras cognitivas de los alumnos del grupo Aquaroca que en las redes de los alumnos del Grupo Control.

**Tabla R- 35. Datos de complejidad estructural y densidad de las redes y número de conceptos nucleares propuestos por los alumnos del grupo AQUAROCA para el concepto de Fermentación.**

<b>Grupo</b>	<b>Alumno</b>	<b>Conceptos Nucleares</b>	<b>Densidad Red</b>	<b>I.C.R. Estructural</b>
<b>AQUAROCA</b>	A1	8	0,40	120,89
	A2	5	0,33	38,89
	A3	4	0,24	15,21
	A4	7	0,42	105,09
	A5	4	0,27	18,96
	A6	2	0,27	7,11
	A7	9	0,53	245,33
	A8	5	0,29	30,49
	A9	3	0,22	6,67
	A10	6	0,36	56,89
	A11	5	0,31	36,30
	A12	2	0,20	3,11
	A13	4	0,24	15,21
	A14	1	0,27	1,78
	A15	2	0,24	4,35
	A16	4	0,27	17,78
	A17	6	0,27	33,78
	A18	4	0,27	16,59
	A19	7	0,49	148,30
	A20	4	0,24	14,12
	<b>Media</b>	<b>5</b>	<b>0,31</b>	<b>46,84</b>

Para contrastar si esas diferencias observadas entre ambos grupos son significativas, deberemos emplear pruebas no paramétricas, concretamente se utilizará para el contraste la Prueba de Mann-Whitney para muestras independientes (tabla R-36), ya que las variables “Conceptos Nucleares”, “Densidad de la Red” e “I.C.R” no se distribuyen normalmente, puesto que la prueba de Shapiro-Wilk arroja un p-valor que nos hace rechazar la hipótesis nula ( $p < 0,05$ ).

**Tabla R- 36. Prueba U de Mann-Whitney para las variables “Conceptos Nucleares”, “Densidad de la Red” e “I.C.R.”.**

<b>Rangos</b>				
	Grupo	N	Rango promedio	Suma de rangos
Conceptos Nucleares	Control	20	17,25	345
	Aquaroca	20	23,75	475
Densidad	Control	20	17,40	348
	Aquaroca	20	23,60	472
ICR	Control	20	17,30	346
	Aquaroca	20	23,70	474
	Total	40		

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>			
	Conceptos Nucleares	Densidad	ICR
U de Mann-Whitney	135	138	136
W de Wilcoxon	345	348	346
Z	-1,78	-1,69	-1,73
Sig. asintótica (bilateral)	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>	<b>0,08</b>
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	0,08	0,10	0,09

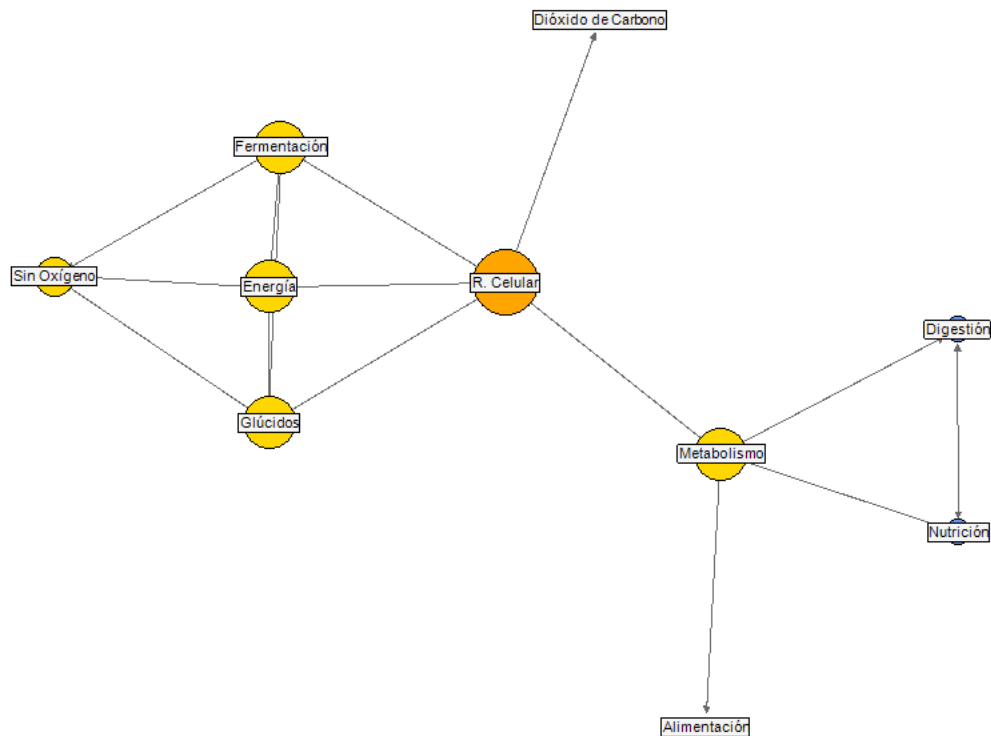
a. Variable de agrupación: Grupo

En los tres casos podemos apreciar en la tabla R-36 que, aunque los rangos son mayores para los alumnos de Aquaroca, lo que implicaría la formación de redes más complejas y densas y con más conceptos nucleares y por tanto asimilados en su estructura cognitiva, la prueba estadística solo nos



arroja una significación marginalmente significativa  $p=0,08$ , por lo que no podemos admitir la hipótesis de estudio para este valor de N. Estos datos, sin embargo, sugieren que un aumento poblacional podría confirmar dicha hipótesis.

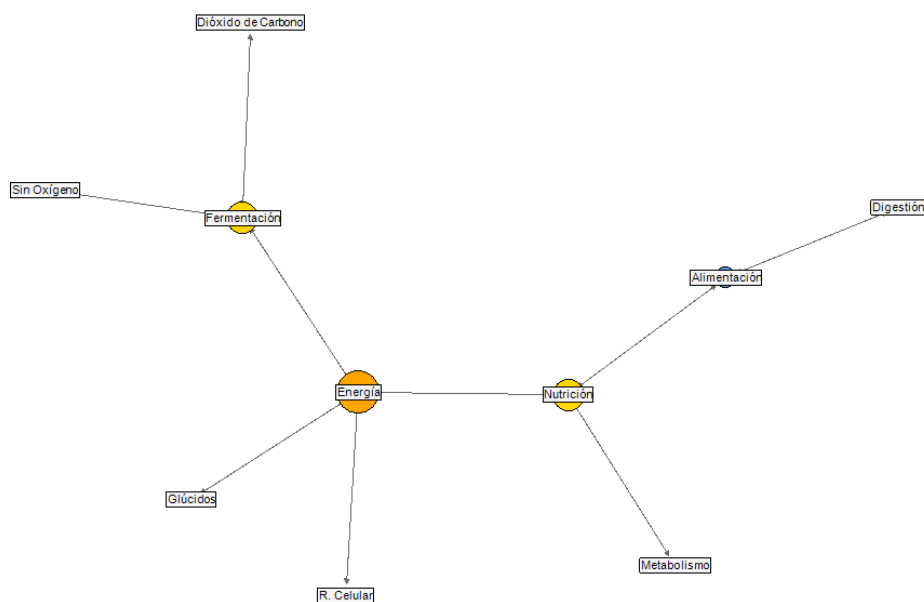
### 5.3.2.3 Red Media Ciencia



**Figura R- 22. RAP 13. Red de la Ciencia para el concepto de Fermentación. Red Asociativa Pathfinder de la Ciencia, obtenida a partir de los libros de texto de 1º de Bachillerato de Biología para el concepto de Fermentación.**

Los libros de texto a través de la red de la Ciencia (Figura R-22) nos presentan un concepto de fermentación muy relacionado con el proceso de Respiración celular y por tanto con el metabolismo y como proceso cuya función es la obtención de energía en un medio anaerobio. Esto implica que los libros presentan el concepto con un claro enfoque bioquímico y sin prácticamente relación con los procesos biotecnológicos que derivan del mismo.

### 5.3.2.4 Red Media Profesores

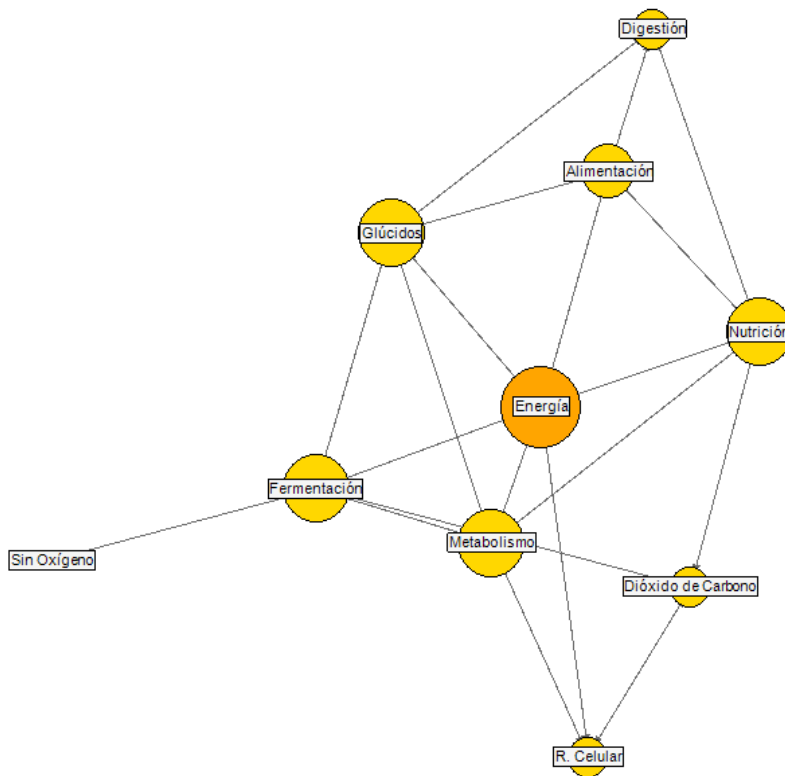


**Figura R- 23. RAP 14. Red Asociativa Pathfinder Media de los profesores de Biología y Geología para el concepto de Fermentación.**

En la red media de los profesores representada mediante la figura R-23, se observa que éstos entienden que la fermentación es un proceso de obtención de energía lo cual lo relaciona con la función de nutrición y por tanto une los campos: bioquímico, biotecnológico y fisiológico.

La red del profesor (Figura R-24) también señala que es un proceso metabólico, cuya función es la obtención de energía y que emplea la degradación de glúcidos en tal empeño. A modo de curiosidad señalar la poca importancia que le da a la situación anaeróbica de los procesos fermentativos, considerando este concepto como un nodo extremo.

### 5.3.2.5 Red Profesor



**Figura R- 24. RAP 15. Red Asociativa Pathfinder del profesor que impartió docencia a los dos grupos para el concepto de Fermentación.**

Para contrastar si existen diferencias significativas en función de la metodología empleada, en el parecido de las redes de ambos grupos de alumnos con la Red del profesor, y con la Red de la Ciencia, se estudiaron sus índices de similitud. También se estudió la coherencia de las redes de los alumnos para descartar que las posibles diferencias se debieran al cuestionario aplicado. Los datos obtenidos mediante el programa GOLUCA 3.1 se recogen en las tablas R-37 (grupo Control) y R-38 (Grupo Aquaroca).

### 5.3.2.6 Grupo Control Datos

**Tabla R- 37. Datos obtenidos para cada alumno del grupo CONTROL con el programa GOLUCA 3.1. Se recogen las Variables: “Coherencia”, “Índice de Similitud con la Red del Profesor” e “Índice de Similitud con la Red de la Ciencia” para el concepto de Fermentación.**

Grupo	Alumno	Coherencia	Índice Similitud	Índice Similitud
			Profesor	Ciencia
CONTROL	C1	0,57	0,32	0,26
	C2	0,57	0,30	0,09
	C3	0,30	0,24	0,24
	C4	0,19	0,35	0,24
	C5	0,34	0,15	0,13
	C6	0,35	0,21	0,04
	C7	0,49	0,36	0,25
	C8	0,32	0,30	0,19
	C9	0,37	0,35	0,35
	C10	0,55	0,57	0,13
	C11	0,39	0,52	0,35
	C12	0,35	0,21	0,09
	C13	0,27	0,43	0,25
	C14	0,70	0,40	0,20
	C15	0,24	0,36	0,25
	C16	0,16	0,24	0,13
	C17	0,38	0,48	0,24
	C18	0,39	0,26	0,14
	C19	0,57	0,26	0,33
	C20	0,45	0,43	0,17
	Media	0,40	0,34	0,20

Los valores de coherencia para los alumnos del grupo Control que aparecen en la tabla R-37 son aceptables en líneas generales, aunque dos alumnos, C4 y C16, presenten valores muy bajos lo que indicaría el poco interés que pusieron al hacer la prueba. Por otro lado, también podemos observar como

el índice de similaridad de redes, parece mayor entre los alumnos y el profesor que entre los alumnos y la red de la Ciencia.

En la tabla R-38 se puede comprobar como los valores de coherencia del alumnado perteneciente al grupo Aquaroca son correctos a grandes rasgos, si exceptuamos los resultados obtenidos por los alumnos A14 y A15 que revelarían la falta de atención de los mismos a la hora de realizar la prueba. Al igual que ocurría con el grupo Control, también podemos advertir como el índice de similaridad de redes para el grupo Aquaroca, parece mayor entre los alumnos y el profesor que entre los alumnos y la red de la Ciencia, como ya sucediera con los conceptos anteriormente estudiados.

#### 5.3.2.7 Grupo Aquaroca Datos

**Tabla R- 38. Datos obtenidos para cada alumno del grupo AQUAROCA con el programa GOLUCA 3.1. Se recogen las Variables: “Coherencia”, “Índice de Similaridad con la Red del Profesor” e “Índice de Similaridad con la Red de la Ciencia” para el concepto de Fermentación.**

Grupo	Alumno	Coherencia	Índice Similaridad	
			Profesor	Ciencia
AQUAROCA	A1	0,62	0,52	0,22
	A2	0,73	0,35	0,20
	A3	0,46	0,35	0,13
	A4	0,38	0,39	0,31
	A5	0,52	0,33	0,29
	A6	0,68	0,33	0,27
	A7	0,28	0,47	0,30
	A8	0,58	0,38	0,27
	A9	0,44	0,43	0,25
	A10	0,68	0,38	0,24
	A11	0,43	0,31	0,21
	A12	0,56	0,45	0,18
	A13	0,60	0,41	0,24

A14	0,14	0,39	0,29
A15	0,15	0,35	0,18
A16	0,54	0,39	0,29
A17	0,47	0,28	0,13
A18	0,38	0,23	0,23
A19	0,58	0,50	0,32
A20	0,37	0,35	0,08
Media	0,48	0,38	0,23

Para establecer si estas diferencias aparentes son significativas, utilizaremos pruebas paramétricas (en concreto la Prueba T para muestras independientes, tabla R-39) para las tres variables: “Coherencia”, “Similaridad Profesor” y “Similaridad Red Ciencia”, ya que podemos asumir la normalidad de los datos pues en todos los casos la significación es superior al 5% ( $p > 0,05$ ).

Del mismo modo, para comprobar el efecto que producen en los dos grupos tanto el profesor como los libros de texto y poder dictaminar si existen diferencias significativas entre ellos, se utilizará la prueba T para muestras apareadas (Tabla R-40).

*Tabla R- 39. Prueba T de Student de muestras independientes, a las variables "Coherencia", "Similaridad con la Red del Profesor" y "Similaridad con la Red de la Ciencia" para el concepto de Fermentación.*

<b>Estadísticas de grupo</b>					
<b>Intervención</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Media de error estándar</b>	
<b>Coherencia</b>	Control	20	0,40	0,14	0,03
	Aquaroca	20	0,47	0,17	0,04
<b>Similaridad Profesor</b>	Control	20	0,34	0,11	0,02
	Aquaroca	20	0,38	0,07	0,02
<b>Similaridad Red Ciencia</b>	Control	20	0,20	0,09	0,02
	Aquaroca	20	0,23	0,07	0,01

**Prueba de muestras independientes**

	Prueba de Levene de calidad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias		
	F	Sig.	T	gl	Sig. (bilateral)
<b>Coherencia</b>	0,55	0,47	-1,54	38	0,13
<b>Similaridad Profesor</b>	3,77	0,06	-1,43	38	0,16
<b>Similaridad Red Ciencia</b>	2,30	0,14	-1,12	38	0,27

En la tabla R-39, se pone de manifiesto que la Coherencia en ambos grupos es pareja ya que aceptamos la hipótesis nula ( $p=0,13$ ), lo cual nos indica que si existen diferencias estas no se deben al proceso de recogida de datos.

Por otro lado, no podemos descartar tampoco la hipótesis nula para la variable "Similaridad con Red del Profesor" ya que el  $p=0,16$ , por lo cual tenemos que asumir que no existen diferencias significativas entre ambos

grupos en sus redes asociativas y las del profesor para el concepto de Fermentación. Lo mismo sucede con la red de la Ciencia con un  $p=0,27$ .

Sin embargo, y tal como se puede percibir en la siguiente tabla (R-40) en la que se recogen los datos obtenidos para la prueba T de muestras emparejadas, sí que existe una diferencia estadísticamente significativa ( $p<0,01$ ) entre el parecido de las redes del alumnado a la Red del profesor, frente a la Red de la Ciencia, para ambos grupos, de tal manera que se aprecia una mayor influencia del docente en el proceso de Enseñanza-Aprendizaje, que de los libros de texto representados por la Red de la Ciencia.



*Tabla R- 40. T de Student de muestras dependientes, de las variables "Similaridad con la Red del Profesor" y "Similaridad con la Red de la Ciencia" para los grupos CONTROL y AQUAROCA en el estudio del concepto de la Fermentación.*

**Estadísticas de muestras emparejadas**

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
<b>Control</b>	Similaridad profesor	0,34	20	0,11	0,02
	Similaridad RCB	0,20	20	0,09	0,02
<b>Aquaroca</b>	Similaridad profesor	0,38	20	0,07	0,02
	Similaridad RCB	0,23	20	0,07	0,01

**Prueba de muestras emparejadas**

		Diferencias emparejadas			T	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar			
<b>Control</b>	Similaridad profesor - Similaridad RCB	0,13	0,11	0,02	5,37	19	<b>&lt;0,01</b>
<b>Aquaroca</b>	Similaridad profesor - Similaridad RCB	0,15	0,08	0,02	8,75	19	<b>&lt;0,01</b>

### 5.3.3 Cuestionario Fermentación

La fiabilidad del cuestionario es buena con un valor de alfa de Cronbach mayor de 0,8, como se puede comprobar en la tabla R-41 que se muestra a continuación.

**Tabla R- 41. Estadísticas de Fiabilidad del Cuestionario sobre la Fermentación. Resumen del procesamiento de casos. Alfa de Cronbach.**

<b>Resumen de procesamiento de casos</b>			
		N	%
Casos	Válido	40	100
	Excluido	0	0
	Total	40	100

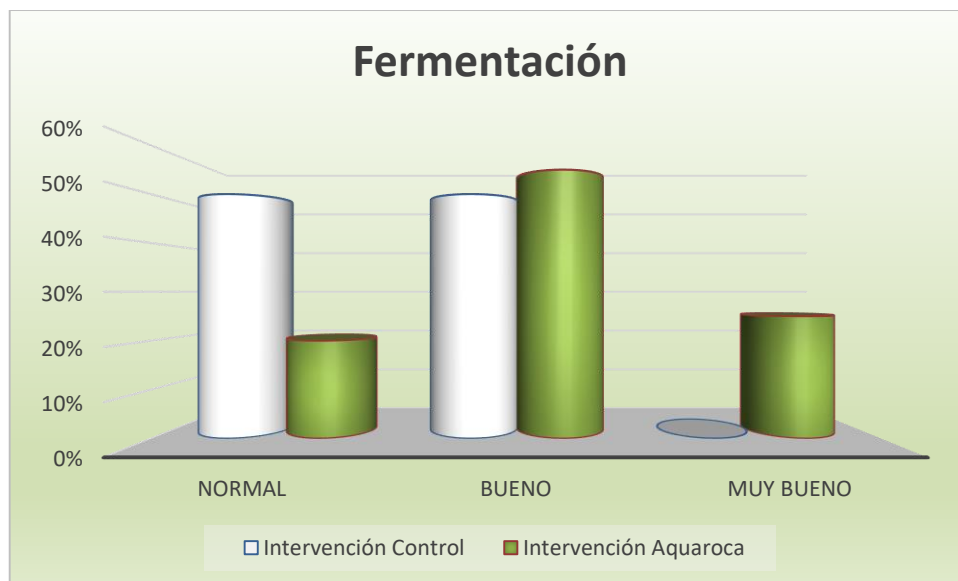
<b>Estadísticas de fiabilidad</b>	
Alfa de Cronbach	N de elementos
0,85	31

Los puntajes obtenidos de la agrupación de los resultados se pueden clasificar en normales, buenos y muy buenos como se recogen en la siguiente tabla (Tabla R-42).

**Tabla R- 42. Puntaje total agrupado del cuestionario de Fermentación en función de la intervención realizada.**

<b>Total (agrupado)*Intervención</b>				
			Intervención	
			Control	Aquaroca
<b>Total (agrupado)</b>	NORMAL	Recuento	10	4
		% dentro de Intervención	50 %	20 %
	BUENO	Recuento	10	11
		% dentro de Intervención	50 %	55 %
	MUY BUENO	Recuento	0	5
		% dentro de Intervención	0 %	25 %
		Recuento	20	20
		% dentro de Intervención	100 %	100 %

Tanto en la tabla anterior (Tabla R-42) como en la figura siguiente (Figura R-25), se puede percibir que existe una respuesta más positiva para el concepto de Fermentación de los alumnos del grupo Aquaroca. Para evidenciar si esta diferencia es realmente significativa se comprueba en primer lugar si la muestra se ajusta a una distribución normal.



**Figura R- 25. Resultados del cuestionario de Fermentación. Porcentaje de alumnos que obtienen puntajes normales, buenos o muy buenos en el cuestionario de Fermentación. En blanco los valores obtenidos para el grupo Control y en verde para el grupo Aquaroca.**

La prueba de Shapiro-Wilk nos hace rechazar la hipótesis nula ( $p < 0,05$ ) y por tanto el supuesto de normalidad, por lo que deberemos emplear pruebas no Paramétricas, empleándose la U de Mann-Whitney para muestras independientes (Tabla R-43).

La prueba de la U de Mann-Whitney nos evidencia que existen diferencias significativas entre ambas intervenciones ( $p = 0,01$ ) por lo que rechazamos la hipótesis nula, pudiendo afirmar con un grado de error del 5% que el grupo Aquaroca responde no solo más positivamente que el grupo

Control al concepto de Fermentación, sino también que las respuestas son más completas.

**Tabla R- 43. Prueba U de Mann-Whitney sobre la variable "Total agrupada" del cuestionario de Fermentación.**

<b>Rangos</b>				
	Intervención	N	Rango promedio	Suma de rangos
Total (agrupado)	Control	20	16,25	325
	Aquaroca	20	24,75	495
	Total	40		

**Estadísticos de prueba<sup>a</sup>**

	Total (agrupado)
U de Mann-Whitney	115
W de Wilcoxon	325
Z	-2,55
Sig. asintótica (bilateral)	<b>0,01</b>
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	0,02

a. Variable de agrupación: Intervención

Como ocurre para el concepto de Metabolismo, tanto el cuestionario como el análisis de los textos con WebQDA marcan que los alumnos del grupo Aquaroca, dan un mayor número de respuestas positivas para el concepto de Fermentación (Tablas R-32 y R-43).

Por otro lado, y aunque no existen diferencias significativas entre las redes asociativas de ambos grupos con la Red de la Ciencia ni con la Red del Profesor, se aprecia una influencia muy importante del docente sobre las redes de los alumnos, mayor que la que presentan los libros de texto, para ambos grupos (Tabla R-40).

## 5.4 Fotosíntesis

### 5.4.1 Datos WEBQDA

En la tabla siguiente, se recogen los códigos obtenidos de los cuestionarios planteados a los alumnos para la categoría “Fotosíntesis” mediante el software WebQDA. En la columna “Descripción” se explica que significan cada uno de ellos y se ejemplifica con algún fragmento recogido de los textos estudiados.

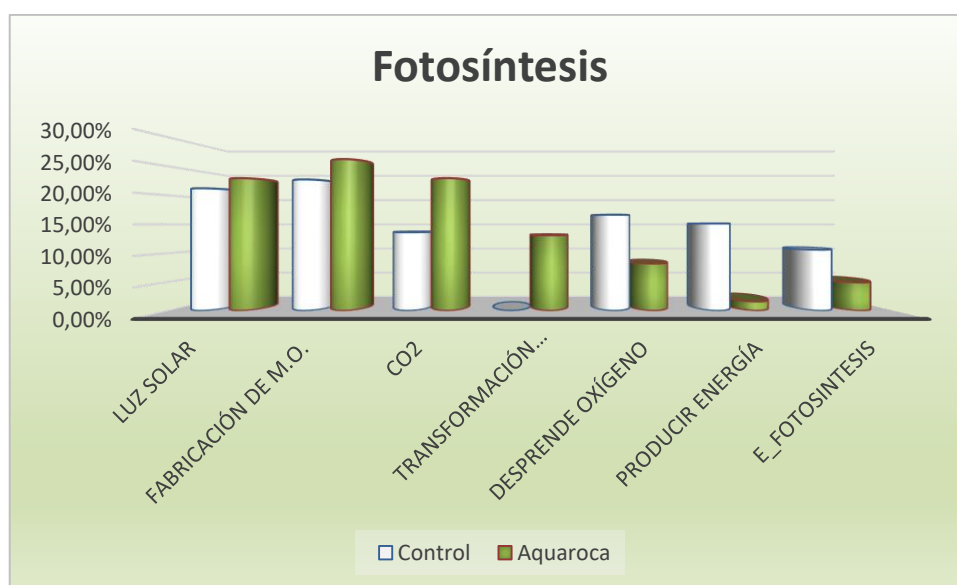
#### Categoría: Fotosíntesis

	Códigos	Descripción
<b>Respuestas Positivas</b>	Luz Solar	Las plantas sintetizan moléculas orgánicas a partir de compuestos inorgánicos del medio y de la energía lumínica. Este proceso se denomina fotosíntesis y es posible gracias a la existencia de pigmentos, como la clorofila, capaces de captar la energía lumínica. <i>Para Alba: “las plantas durante el día absorben la energía solar y dióxido de carbono del aire y luego lo transformarán en alimento para que la planta pueda crecer”.</i>
	Fabricación de M.O.	En este código se recogen todas las referencias que señalan a la fotosíntesis como proceso para la producción de Materia Orgánica. <i>“La fotosíntesis es un proceso cuya finalidad es la obtención de glucosa, para obtener la energía suficiente para el buen funcionamiento de la planta.” María C.</i>
	CO <sub>2</sub>	La fotosíntesis es el proceso anabólico en el que las células autótrofas sintetizan materia orgánica, como la glucosa, a partir de materia inorgánica (CO <sub>2</sub> y agua),

		<p>utilizando la energía de la luz. En este código se muestran todas las reseñas que hace el alumnado para este concepto. En palabras de Javi S:</p> <p><i>“Los factores que más afectan a la fotosíntesis son los nutrientes y los gases (especialmente el CO<sub>2</sub>)”.</i></p>
	Transformación Energía	<p>Se refiere a los procesos que implican la transformación de la energía captada del sol en energía química, que los organismos fotosintéticos utilizan para sintetizar compuestos carbonados.</p> <p>Javi A por ejemplo nos dice:</p> <p><i>“Proceso cuyo objetivo es obtener M.O. a partir de CO<sub>2</sub> y asimilar la energía luminosa que se transforma en energía química”.</i></p>
	Desprende Oxígeno	<p>En este código se engloban todas las respuestas que el alumno da referidas a la liberación de Oxígeno que se produce en el proceso fotosintético, pero como residuo del mismo. A modo de ejemplo Javi A nos dice que:</p> <p><i>“Este proceso genera como desecho O<sub>2</sub> que es imprescindible para el resto de seres vivos que lo necesitan para realizar la respiración celular y obtener ATP imprescindible en el funcionamiento de la célula”.</i></p>
<b>Respuestas Negativas</b>	Producir Energía	<p>En las células de las plantas y más concretamente en los tilacoides (cloroplastos) se encuentra la clorofila y las proteínas que se encargarán de transformar la energía de la luz en ATP para el proceso fotosintético. Este código nos muestra las respuestas del alumnado en las que señalan como finalidad de la fotosíntesis la producción de energía.</p> <p><i>“La fotosíntesis tiene como finalidad suministrar energía a la planta” Álvaro.</i></p>

E_Fotosíntesis	<p>En este código se agrupan los errores que el alumno comete debidos fundamentalmente a desviaciones producidas en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Siendo principalmente de dos tipos: Los que confunden el proceso respiratorio con el fotosintético como por ejemplo Elia:</p> <p><i>“Las plantas respiran por el proceso de la fotosíntesis, porque tienen cloroplastos”.</i></p> <p>Y por otro lado como Fernando que entienden que uno de los objetivos de la fotosíntesis es la producción de Oxígeno:</p> <p><i>“la finalidad de la fotosíntesis es la transformación del dióxido de carbono en oxígeno”.</i></p>
----------------	--

En la figura R-26 se muestra como el alumno del Grupo Aquaroca define la fotosíntesis como un proceso de transformación de la energía luminosa en energía química cuyo fin es la fabricación de Materia Orgánica a partir de CO<sub>2</sub>.



**Figura R- 26. Respuestas al concepto de Fotosíntesis. En el gráfico se recogen los porcentajes de las diferentes respuestas dadas por el alumno para definir el concepto de Fotosíntesis. En blanco se pueden apreciar las respuestas ofrecidas por el alumnado del Grupo Control y en verde las vertidas por el Grupo Aquaroca.**

El grupo Control, sin embargo, no habla de transformación energética sino de producción de energía como propósito del proceso fotosintético e incluso la producción de Oxígeno como finalidad.

La tabla R-44 nos indica que no existe una asociación estadísticamente significativa entre qué metodología se emplea y las respuestas positivas dadas para el concepto de Fotosíntesis ( $\chi^2_{(2)} = 4,74$ ,  $p > 0,05$ ). Sin embargo, la significación tan baja podría indicar que, en una muestra mayor, se podría observar dicha asociación. De hecho, para el código “Transformación de Energía” sí que existe tal asociación, aunque moderada ( $\chi^2_{(1)} = 7,06$ ,  $p < 0,05$ , con una V de Cramer=0,57,  $p < 0,05$ ).

**Tabla R- 44. Tabla de Chi cuadrado para las respuestas ofrecidas por los dos grupos de alumnos para el concepto de Fotosíntesis y analizadas con WebQDA.**

Tabla de Contingencia		Chi-cuadrado de Pearson		Lambda		V de Cramer	
		Valor	Sig. asintótica (2 caras)	Valor	Aprox. Sig.	Valor	Aprox. Sig.
Intervención	*	4,74	0,09	-	-	-	-
Respuestas positivas							
Intervención	*	7,06	0,01	0,30	0,01	0,42	0,01
Transformación de Energía	de						
Intervención	*	10,42	0,00	0,50	0,03	0,51	0,00
Respuestas negativas							

La relación en el caso de las respuestas negativas sí que es significativa  $\chi^2_{(1)} = 10,42$ ,  $p < 0,05$  pero moderada (V de Cramer=0,51,  $p < 0,05$ ). Así mismo, podemos indicar con los datos de direccionalidad (lambda=0,50,  $p < 0,05$ ) que



es más probable que sea un alumno perteneciente al grupo Control el que dé una respuesta negativa.

La tabla R-45, así como la gráfica que se obtiene de la misma (Figura R-27), parecen señalar que existiera una relación entre el tipo de intervención y la calidad de las respuestas positivas dadas, para testearlo realizaremos primeramente pruebas de normalidad de la variable para decidir acerca del método estadístico a utilizar.

**Tabla R- 45. Respuestas positivas ofrecidas por los dos grupos de alumnos para el concepto de Fotosíntesis.**

		Intervención	
		Control	Aquaroca
1 Respuesta positiva	Recuento	9	3
	% dentro de Intervención	45 %	15 %
2 Respuestas positivas	Recuento	5	10
	% dentro de Intervención	25 %	50%
3 Respuestas positivas	Recuento	6	7
	% dentro de Intervención	30 %	35 %
Total	Recuento	20	20
	% dentro de Intervención	100 %	100 %



**Figura R- 27. Respuestas Positivas al concepto de Fotosíntesis. Gráfica que recoge (en blanco) las respuestas positivas del grupo Control frente a las del grupo Aquaroca (en verde) en la definición del concepto de Fotosíntesis.**

Dado que la prueba de Shapiro-Wilk arroja un valor de  $p < 0,05$ , debemos emplear la prueba de U-Mann Whitney (Tabla R-46) para comprobar si es significativa la diferencia que parece mostrarse en la gráfica para el concepto de Fotosíntesis.

**Tabla R- 46. Rangos prueba U de Mann-Whitney para la variable "Respuestas Positivas al concepto de Fotosíntesis".**

<b>Rangos</b>				
	Intervención	N	Rango promedio	Suma de rangos
TOTAL (agrupado)	Control	20	18,13	362,5
	Aquaroca	20	22,88	457,5
	Total	40		

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>	
	TOTAL (agrupado)
U de Mann-Whitney	152,5
W de Wilcoxon	362,5
Z	-1,37
Sig. asintótica (bilateral)	0,17
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	0,20

a. Variable de agrupación: Intervención

La prueba de Mann-Whitney (Tabla R-46) para muestras independientes nos indica que no podemos rechazar la hipótesis nula ya que  $p > 0,05$ , por lo que no podemos establecer diferencias significativas entre las respuestas positivas dadas por ambos grupos para el concepto de Fotosíntesis.

#### 5.4.2 Redes Pathfinder Fotosíntesis

El término “Fotosíntesis” es considerado como concepto nuclear en todas las redes y, no se encuentra consenso para establecer otro concepto nuclear (Ver tabla R-47), esto podría indicar que no establecemos un diseño claro de la enseñanza de este término y por ello, la dificultad que hay para normalizar su aprendizaje. Lo cual podría estar influido por la tendencia que en ocasiones se tiene a explicar la fotosíntesis como un concepto “opuesto” a la Respiración Celular, este hecho parece verse reflejado en las redes del profesorado y de la Ciencia al considerarlo en ambas como concepto nuclear.

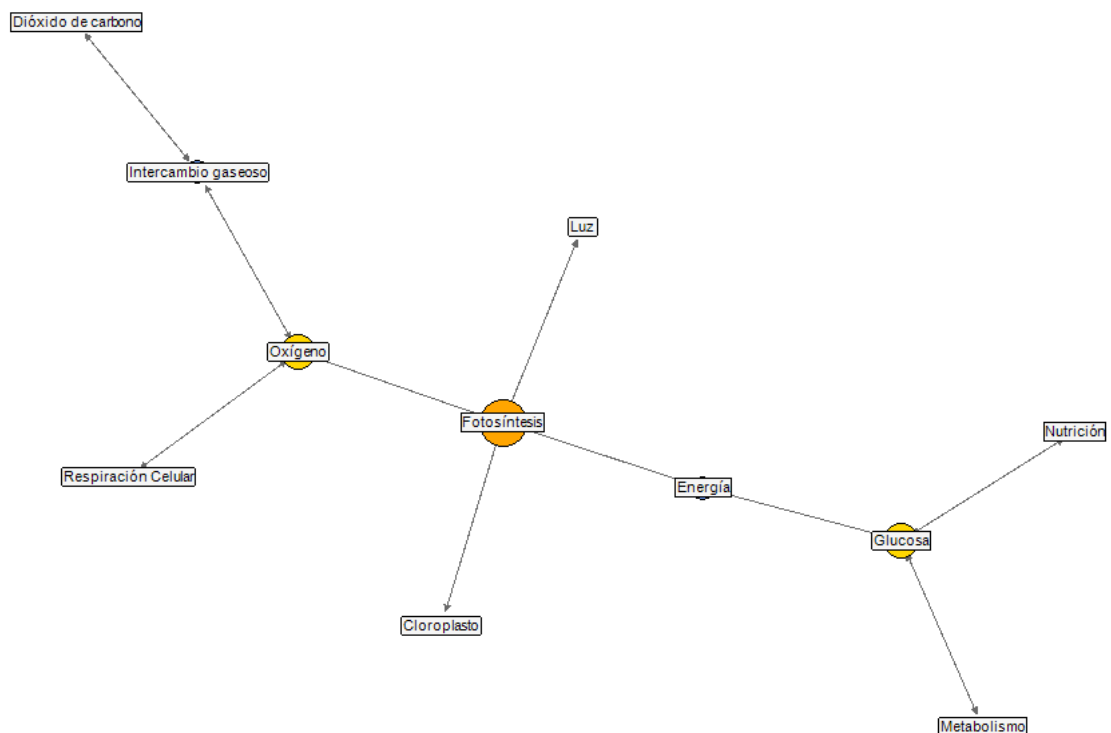
*Tabla R- 47. Tipología de conceptos en las Redes Medias para el concepto de Fotosíntesis.*

<b>Concepto</b>	<b>Grupo Control</b>	<b>Grupo Acuaroca</b>	<b>Red Ciencia</b>	<b>Red Profesores</b>	<b>Red Profesor</b>
<b>Metabolismo</b>	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Nodo Polar	Concepto Nuclear
<b>Energía</b>	Nodo Polar	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear
<b>Luz</b>	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Nodo Extremidad	Nodo Polar
<b>Respiración Celular</b>	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear
<b>Fotosíntesis</b>	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear	Concepto Nuclear
<b>Glucosa</b>	Concepto Nuclear	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Concepto Nuclear
<b>Nutrición</b>	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Nodo Polar	Nodo Extremidad	Nodo Polar
<b>Oxígeno</b>	Concepto Nuclear	Nodo Polar	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Nodo Extremidad

<b>Dióxido de Carbono</b>	Nodo Extremidad	Nodo Polar	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Polar
<b>Intercambio Gaseoso</b>	Nodo Polar	Nodo Polar	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad
<b>Cloroplasto</b>	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Nodo Extremidad	Concepto Nuclear

En las redes asociativas que a continuación se muestran (RAP 16 a RAP 20), se distinguen en amarillo, los conceptos nucleares obtenidos para el término Fotosíntesis.

#### 5.4.2.1 Red Media Grupo Control

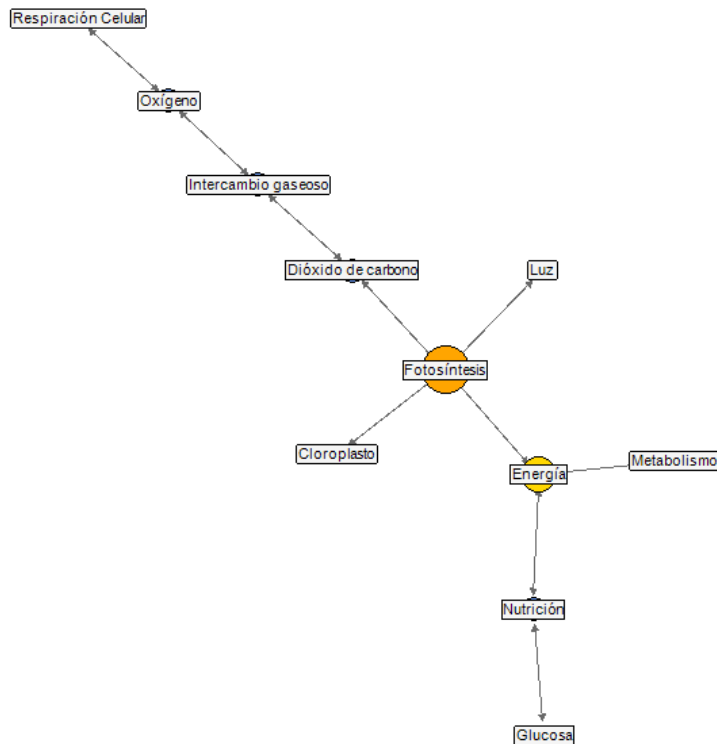


**Figura R- 28. RAP 16. Red Asociativa Pathfinder Media del Grupo Control para el concepto de Fotosíntesis.**

En la Red media del grupo Control (Figura R-28) aparecen como conceptos nucleares además de la Fotosíntesis, el Oxígeno próximo a esta y la

Glucosa un poco más alejado, lo que advertiría que estos estudiantes pudieran creer que la obtención de Oxígeno es una de las funciones de la fotosíntesis. En cambio, consideran que el Dióxido de carbono no es prioritario para la obtención de materia orgánica, aunque sí la producción de energía.

#### 5.4.2.2 Red Media Grupo Aquaroca



**Figura R- 29. RAP 17.Red Asociativa Pathfinder Media del Grupo Aquaroca para el concepto de Fotosíntesis.**

En la figura R-29 podemos observar que en los alumnos del grupo Aquaroca en cambio, sí consideran al dióxido de carbono como necesario para el proceso fotosintético, pero no estiman que la obtención de materia orgánica sea la función de la fotosíntesis.

Para comparar ambos grupos se medirán las diferencias entre el número de nodos nucleares que presentan, la densidad y complejidad de las redes formadas (datos recogidos en las tablas R-48 y R-49).

*Tabla R- 48 Datos de complejidad estructural y densidad de las redes y número de conceptos nucleares propuestos por los alumnos del grupo CONTROL para el concepto de Fotosíntesis.*

<b>Grupo</b>	<b>Alumno</b>	<b>Conceptos Nucleares</b>	<b>Densidad Red</b>	<b>I.C.R. Estructural</b>
<i>CONTROL</i>	C1	3	0,24	8,96
	C2	3	0,20	7,33
	C3	6	0,44	97,78
	C4	1	0,22	1,23
	C5	2	0,22	3,95
	C6	4	0,24	14,12
	C7	7	0,33	64,81
	C8	3	0,22	7,41
	C9	5	0,33	37,04
	C10	3	0,20	6,67
	C11	1	0,20	1,56
	C12	3	0,24	8,15
	C13	2	0,22	2,96
	C14	5	0,31	36,30
	C15	4	0,29	20,54
	C16	3	0,22	7,41
	C17	6	0,36	61,63
	C18	4	0,24	14,12
	C19	8	0,42	131,36
	C20	6	0,27	32,00
	Media	4	0,27	28,27

La revisión de las tablas R-48 y R-49 parece sugerir que existan diferencias en su complejidad, aunque no tanto en las variables de conceptos

nucleares o de densidad de la red. Los datos parecen indicar que los alumnos que recibieron la instrucción basada en la metodología Aquaroca, presentan estructuras más complejas que aquellos que recibieron una enseñanza de corte tradicional.

**Tabla R- 49. Datos de complejidad estructural y densidad de las redes y número de conceptos nucleares propuestos por los alumnos del grupo AQUAROCA para el concepto de Fotosíntesis.**

<b>Grupo</b>	<b>Alumno</b>	<b>Conceptos Nucleares</b>	<b>Densidad Red</b>	<b>I.C.R. Estructural</b>
<b>AQUAROCA</b>	A1	4	0,31	23,51
	A2	3	0,22	7,41
	A3	4	0,24	13,04
	A4	9	0,47	186,67
	A5	6	0,36	64,00
	A6	9	0,42	152,00
	A7	5	0,29	28,89
	A8	9	0,42	156,22
	A9	6	0,31	43,56
	A10	5	0,24	20,37
	A11	4	0,33	28,15
	A12	3	0,27	11,56
	A13	2	0,20	2,67
	A14	6	0,38	68,00
	A15	7	0,31	58,07
	A16	5	0,31	32,84
	A17	8	0,33	82,96
	A18	2	0,20	2,67
	A19	5	0,27	22,22
	A20	3	0,27	12,44
	<b>Media</b>	<b>5</b>	<b>0,31</b>	<b>50,86</b>

Para estudiar si las diferencias son realmente significativas entre ambos grupos, se estudia en primer lugar la normalidad de las diferentes variables, la cual indica que las tres variables objeto de estudio no se distribuyen normalmente ya que la prueba de Shapiro-Wilk presenta un  $p < 0,05$  por lo que deberemos emplear pruebas no paramétricas.

Por tanto, se utilizará para el contraste la Prueba de Mann-Whitney para muestras independientes (Tabla R-50).

**Tabla R- 50. Prueba U de Mann-Whitney para las variables “Conceptos Nucleares”, “Densidad de la Red” e “I.C.R.”.**

<b>Rangos</b>				
	Grupo	N	Rango promedio	Suma de rangos
Conceptos Nucleares	Control	20	21,15	423
	Aquaroca	20	19,85	397
Densidad	Control	20	21,33	426,50
	Aquaroca	20	19,68	393,50
ICR	Control	20	21,10	422
	Aquaroca	20	19,90	398
	Total	40		

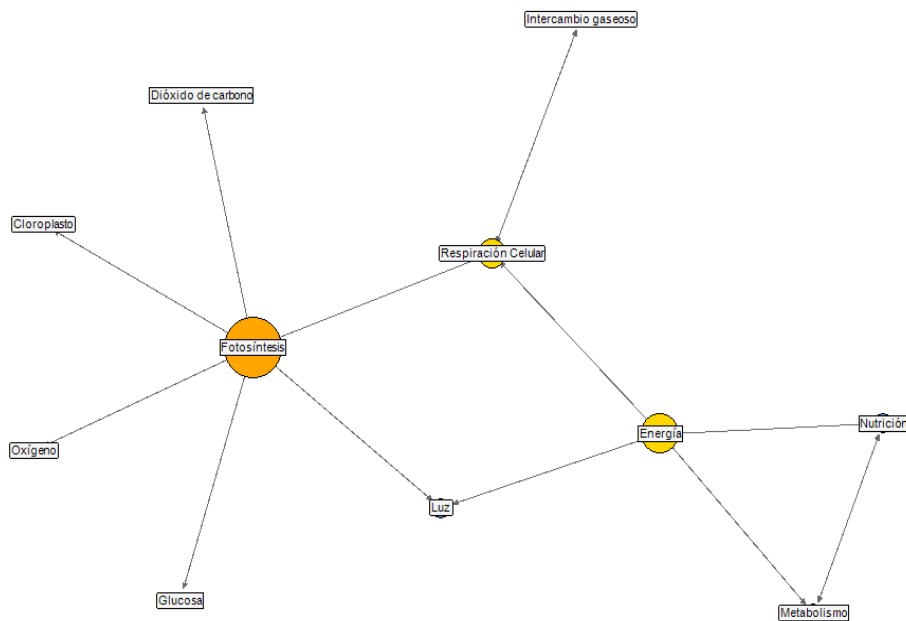
<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>			
	Conceptos Nucleares	Densidad Red	ICR
U de Mann-Whitney	187	183,50	188
W de Wilcoxon	397	393,50	398
Z	-0,36	-0,45	-0,33
Sig. asintótica (bilateral)	0,72	0,65	0,75
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	0,74	0,66	0,76

a. Variable de agrupación: Grupo

En los tres casos podemos apreciar que, no aparecen diferencias significativas entre los dos grupos ya que el  $p > 0,05$ , lo cual implica que para el concepto de fotosíntesis no aparecen diferencias en la complejidad de las redes asociativas entre ambos grupos.



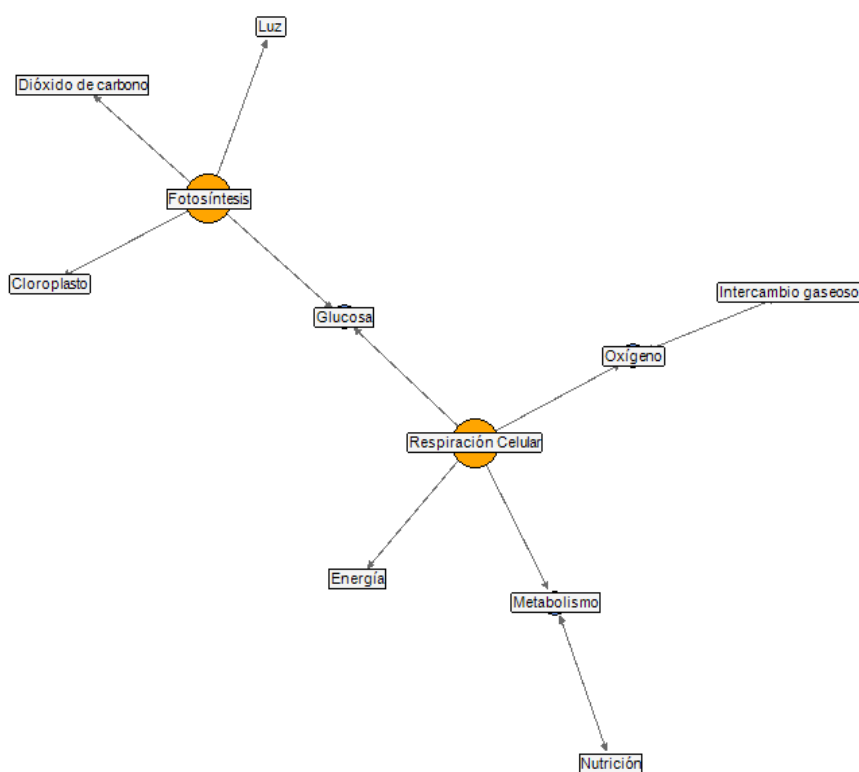
### 5.4.2.3 Red de la Ciencia



**Figura R- 30. RAP 18. Red de la Ciencia para el concepto de Fotosíntesis. Red Asociativa Pathfinder de la Ciencia, obtenida a partir de los libros de texto de 1º de Bachillerato de Biología para el concepto de Fotosíntesis.**

La red de la ciencia para el concepto de Fotosíntesis representada en la figura R-30 nos la presenta como un proceso relacionado con la Respiración celular y con la producción de energía, gracias a la luz solar. Sin embargo, presenta los demás factores implicados en el proceso fotosintético sin aparente importancia ni relación entre ellos.

#### 5.4.2.4 Red Media Profesores

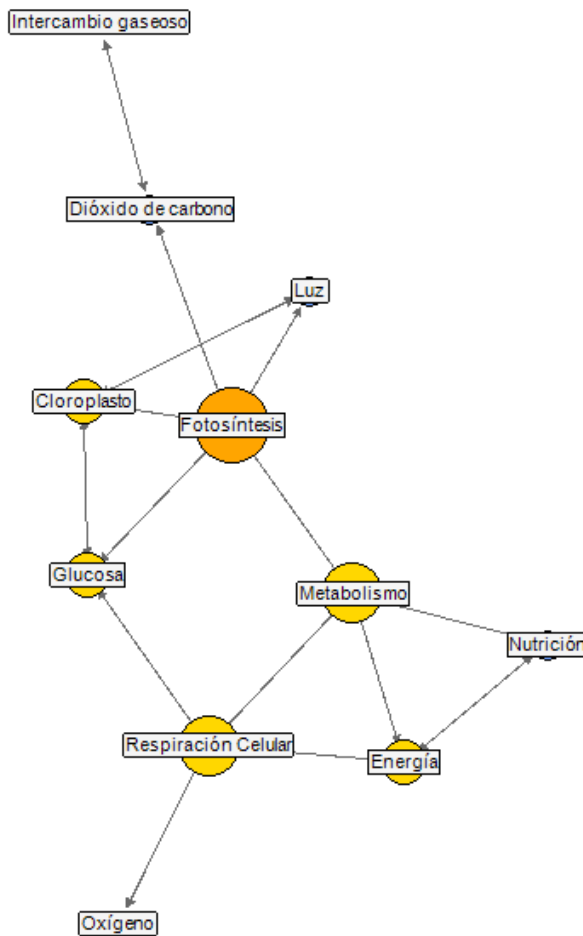


**Figura R- 31. RAP 19. Red Asociativa Pathfinder Media de los profesores de Biología y Geología para el concepto de Fotosíntesis.**

En la figura R-31 se recoge la red media del profesorado en la que se puede observar cómo asocian el proceso de la fotosíntesis a la respiración celular, unidos a través de la glucosa como producto y sustrato de dichas vías metabólicas. Al igual que en la red de la Ciencia, los factores implicados en el proceso fotosintético tampoco son considerados por el profesorado como importantes.

En la red del profesor, como se puede advertir en la figura R-32, la fotosíntesis es un proceso metabólico que sucede en el cloroplasto gracias a la luz y que se relaciona con la respiración celular a través del concepto “Glucosa”.

#### 5.4.2.5 Red del Profesor



**Figura R- 32. RAP 20. Red Asociativa Pathfinder del profesor que impartió docencia a los dos grupos para el concepto de Fotosíntesis.**

Para contrastar si existen diferencias significativas en el parecido de las redes ambos grupos de alumnos con la Red del profesor, y con la Red de la Ciencia, en función de la metodología empleada, se estudiaron sus índices de similitud. Previamente se estudió la coherencia de las redes de los alumnos para descartar que las posibles diferencias se debieran al cuestionario aplicado. Los datos obtenidos mediante el programa GOLUCA 3.1 se recogen en las tablas R-51 (grupo Control) y R-52 (Grupo Aquaroca).

Los valores de coherencia para los alumnos del grupo Control que aparecen en la tabla R-51 son en general muy buenos, lo que indica que el alumnado se tomó en serio la realización del test. Sin embargo, se puede apreciar que no hay demasiada diferencia entre la similaridad de redes del grupo con la red del profesor y de los libros de texto, con lo que no se aprecia para este concepto la importancia del profesor en el proceso como en los conceptos anteriormente estudiados.

#### 5.4.2.6 Grupo Control Datos

**Tabla R- 51. Datos obtenidos para cada alumno del grupo CONTROL con el programa GOLUCA 3.1. Se recogen las Variables: “Coherencia”, “Índice de Similaridad con la Red del Profesor” e “Índice de Similaridad con la Red de la Ciencia” para el concepto de Fotosíntesis.**

<b>Grupo</b>	<b>Alumno</b>	<b>Coherencia</b>	<b>Índice Similaridad Profesor</b>	<b>Índice Similaridad Red de la Ciencia</b>
<b>CONTROL</b>	C1	0,56	0,30	0,39
	C2	0,63	0,17	0,14
	C3	0,38	0,21	0,18
	C4	0,34	0,24	0,33
	C5	0,27	0,30	0,23
	C6	0,34	0,29	0,26
	C7	0,62	0,39	0,22
	C8	0,67	0,37	0,28
	C9	0,31	0,35	0,33
	C10	0,68	0,23	0,33
	C11	0,72	0,33	0,38
	C12	0,41	0,20	0,18
	C13	0,73	0,35	0,26
	C14	0,58	0,14	0,27
	C15	0,42	0,18	0,28
	C16	0,46	0,33	0,26
	C17	0,42	0,14	0,16

	C18	0,66	0,19	0,29
	C19	0,43	0,07	0,00
	C20	0,22	0,17	0,20
	Media	0,49	0,25	0,25

En la tabla R-52 se puede contemplar como los valores de coherencia para los alumnos del grupo Aquaroca son aceptables, aunque el alumno A19 presente valores bajos. En otro orden de cosas, también podemos observar como el índice de similaridad de redes, parece mayor entre los alumnos y el profesor que entre los alumnos y la red de la Ciencia.

#### 5.4.2.7 Grupo Aquaroca Datos

**Tabla R- 52. Datos obtenidos para cada alumno del grupo AQUAROCA con el programa GOLUCA 3.1. Se recogen las Variables: “Coherencia”, “Índice de Similaridad con la Red del Profesor” e “Índice de Similaridad con la Red de la Ciencia” para el concepto de Fotosíntesis.**

Grupo	Alumno	Coherencia	Índice Similaridad	Índice Similaridad
			Profesor	RCB
AQUAROCA	A1	0,22	0,35	0,41
	A2	0,52	0,44	0,64
	A3	0,51	0,48	0,40
	A4	0,69	0,30	0,28
	A5	0,55	0,20	0,23
	A6	0,56	0,30	0,29
	A7	0,35	0,24	0,21
	A8	0,44	0,29	0,33
	A9	0,45	0,33	0,19
	A10	0,48	0,37	0,28
	A11	0,60	0,35	0,20
	A12	0,53	0,32	0,22
	A13	0,68	0,38	0,37
	A14	0,29	0,40	0,25

	A15	0,68	0,22	0,32
	A16	0,50	0,35	0,20
	A17	0,75	0,32	0,22
	A18	0,55	0,22	0,28
	A19	0,12	0,24	0,28
	A20	0,41	0,33	0,32
	Media	0,49	0,32	0,30

Para demostrar si estas diferencias que nos aportan los datos son significativas, emplearemos pruebas paramétricas (Prueba T de Student) para las variables “Coherencia” y “Similaridad Profesor” (Tabla R-53) ya que podemos asumir la normalidad de los datos para estas dos variables, puesto que la prueba de Shapiro-Wilk ofrece un valor de  $p > 0,05$ .

*Tabla R- 53. Prueba T de Student para muestras independientes, a las variables “Coherencia” y “Similaridad con la Red del Profesor” para el concepto de Fotosíntesis.*

Estadísticas de grupo					
	Intervención	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Coherencia	Control	20	0,49	0,16	0,04
	Aquaroca	20	0,49	0,16	0,04
Similaridad Profesor	Control	20	0,25	0,09	0,02
	Aquaroca	20	0,32	0,07	0,02

Prueba de muestras independientes					
	Prueba de Levene de calidad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias		
	F	Sig.	T	gl	Sig. (bilateral)
Coherencia	0,69	0,41	-0,03	38	0,98
Similaridad Profesor	2,37	0,13	-2,83	38	<b>0,01</b>

Los resultados obtenidos para la variable “Coherencia” ( $p=0,98$ ) indican claramente que no hubo ningún grupo que fuera más diligente que el otro a la

hora de realizar el cuestionario, lo cual indica que los resultados obtenidos se deben exclusivamente a la opinión del alumno y, por tanto, al proceso de enseñanza-aprendizaje.

En cuanto a la otra variable, aparecen diferencias muy significativas ( $p=0,01$ ) entre el índice de similaridad de las redes de los alumnos con la red del profesor dependiendo de la metodología empleada, siendo más próxima la Red Media del grupo Aquaroca a la Red del Profesor.

Sin embargo, no podemos asumir la normalidad en el caso de la variable “Similaridad Red Ciencia” debido a que la prueba de Shapiro-Wilk arroja un  $p=0,01$ , por lo que se empleará la prueba U de Mann-Whitney (Tabla R-54). Del mismo modo, para comprobar si existe diferencias entre los dos grupos y las redes del profesor, frente a las redes de la Ciencia se utilizará el test de Wilcoxon para muestras apareadas.

**Tabla R- 54. Rangos prueba U de Mann-Whitney para la variable Similaridad de la Ciencia.**

<b>Rangos</b>				
	Intervención	N	Rango promedio	Suma de rangos
Similaridad Red Ciencia	Control	20	18,40	368
	Aquaroca	20	22,60	452
			<b>Similaridad Red Ciencia</b>	
U de Mann-Whitney			158	
W de Wilcoxon			368	
Z			-1,14	
Sig. asintótica (bilateral)			0,26	
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]			0,27	

En cuanto a la variable “Similaridad Red Ciencia” (Tabla R-54) dado que el  $p>0,05$ , no podemos descartar la hipótesis nula, esto nos indica que no hay diferencias significativas entre las Redes de los dos grupos de alumnos con

la Red de la Ciencia, a pesar de que exista una diferencia de rangos favorable al grupo Aquaroca.

Para comprobar si existen diferencias significativas entre la influencia del profesor y de los libros de texto sobre los diferentes grupos de alumnos, se empleará la Prueba de Wilcoxon para muestras apareadas, datos que se recogen en la tabla R-55.

**Tabla R- 55. Prueba de Wilcoxon para muestras dependientes, a las variables "Similaridad con la Red del Profesor" y "Similaridad con la Red de la Ciencia" para los grupos CONTROL y AQUAROCA en el estudio del concepto de Fotosíntesis.**

			Rangos		
			N	Rango promedio	Suma de rangos
Similaridad Red Ciencia - Similaridad Red Profesor	Control	Rangos negativos	11 <sup>a</sup>	8,64	95
		Rangos positivos	9 <sup>b</sup>	12,78	115
		Empates	0 <sup>c</sup>		
		Total	20		
	Aquaroca	Rangos negativos	13 <sup>a</sup>	10,46	136
		Rangos positivos	7 <sup>b</sup>	10,57	74
		Empates	0 <sup>c</sup>		
		Total	20		

a. Similaridad Red Ciencia < Similaridad Red Profesor

b. Similaridad Red Ciencia > Similaridad Red Profesor

c. Similaridad Red Ciencia = Similaridad Red Profesor

#### Estadísticos de prueba<sup>a</sup>

Similaridad Red Ciencia - Similaridad Red Profesor		
	Control	Aquaroca
Z	-0,38 <sup>b</sup>	-1,16 <sup>b</sup>
Sig. asintótica (bilateral)	0,71	0,25

a. Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo

b. Se basa en rangos positivos.

No se puede afirmar que haya diferencias significativas entre la similaridad de las redes de los alumnos de los dos grupos, con el profesor y con la Red de la Ciencia, como indica la prueba de Wilcoxon ( $p=0,71$  para el



grupo Control y  $p=0,25$  para el grupo Aquaroca). En el caso del concepto “Fotosíntesis”, no podemos demostrar por tanto, lo que sí ocurría con los otros conceptos, que la influencia del profesor es mucho más importante que la de los libros de texto en la enseñanza de los conceptos relacionados con el metabolismo.

### 5.4.3 Cuestionario Fotosíntesis

La fiabilidad del cuestionario es aceptable con un valor de alfa =0,76 como se puede comprobar en la tabla R-56 que se presenta a continuación.

**Tabla R- 56. Estadísticas de Fiabilidad del Cuestionario sobre la Fotosíntesis. Resumen del procesamiento de casos. Alfa de Cronbach.**

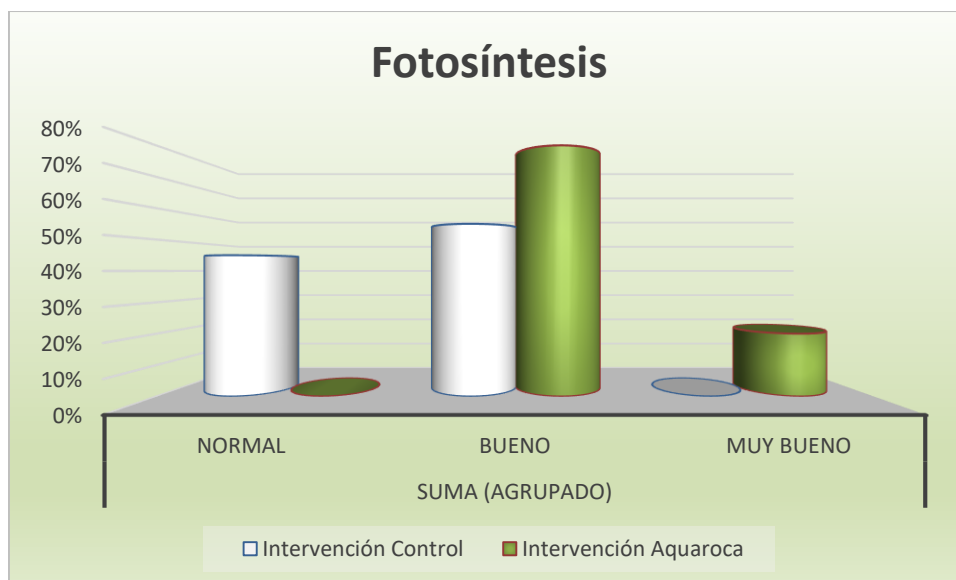
<b>Resumen de procesamiento de casos</b>			
		N	%
Casos	Válido	40	100
	Excluido	0	0
	Total	40	100
<b>Estadísticas de fiabilidad</b>			
Alfa de Cronbach		N de elementos	
0,76		26	

Los puntajes obtenidos de la agrupación de los resultados se pueden clasificar en normales, buenos y muy buenos como se recogen en la siguiente tabla (Tabla R-57).

**Tabla R- 57. Puntaje total agrupado del cuestionario de Fotosíntesis, en función de la intervención realizada.**

<b>Total (agrupado)*Intervención</b>				
			Intervención	
			Control	Aquaroca
Total (agrupado)	NORMAL	Recuento	9	0
		% dentro de Intervención	45 %	0 %
	BUENO	Recuento	11	16
		% dentro de Intervención	55 %	80 %
	MUY BUENO	Recuento	0	4
		% dentro de Intervención	0 %	20 %
Total		Recuento	20	20
		% dentro de Intervención	100 %	100 %

Tanto en la tabla anterior (Tabla R-57) como en la gráfica siguiente (Figura R-33) se puede apreciar que existe “a priori” una respuesta más positiva para el concepto de Fotosíntesis de los alumnos del grupo Aquaroca.



**Figura R- 33. Resultados del cuestionario de Fotosíntesis. Porcentaje de alumnos que obtienen puntajes normales, buenos o muy buenos en el cuestionario de Fotosíntesis. En blanco los valores obtenidos para el grupo Control y en verde para el grupo Aquaroca.**

Para evidenciar si la diferencia es realmente significativa se comprueba en primer lugar que la muestra no se ajusta a una distribución normal, ya que las pruebas de normalidad nos hacen rechazar la hipótesis nula (significación del estadístico de Shapiro-Wilk  $p < 0,05$ ) y por tanto el supuesto de normalidad, por lo que deberemos emplear la prueba no paramétrica, U de Mann-Whitney (Tabla R-58), para demostrar las posibles diferencias significativas, observadas en la tabla R-57 y figura R-33 citadas anteriormente.

**Tabla R- 58. Prueba U de Mann-Whitney sobre la variable "Total agrupada" del cuestionario de Fotosíntesis.**

<b>Rangos</b>				
	Intervención	N	Rango promedio	Suma de rangos
Total (agrupado)	Control	20	14,90	298
	Aquaroca	20	26,10	522
	Total	40		

**Estadísticos de prueba<sup>a</sup>**

	suma (agrupado)
U de Mann-Whitney	88
W de Wilcoxon	298
Z	-3,67
Sig. asintótica (bilateral)	<b>&lt; 0,01</b>
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	0,00

a. Variable de agrupación: Intervención

Los datos que se recogen en la tabla R-58, certifican que existen diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) a favor del aprendizaje mediante la metodología Aquaroca para el concepto de la Fotosíntesis.

En líneas generales se puede decir que, aunque no tan concluyente como en los otros conceptos (ver tabla resumen R-59), especialmente en lo que se refiere a las redes asociativas, la metodología objeto de estudio mejora también el proceso de aprendizaje del concepto de Fotosíntesis.

Tabla R- 59. Resumen de los resultados obtenidos para los conceptos estudiados.

### Metabolismo

- **WebQDA**
  - Intervención - Respuestas positivas  $\chi^2(3)$  8,30, p=0,04.
  - Intervención - Respuestas negativas  $\chi^2(1)$  7,03, p=0,01.
  - Calidad Respuestas. U-Mann-Whitney p=0,01
- **Redes Pathfinder**
  - Coherencia Redes p>0,05
  - Complejidad Redes U-Mann-Whitney p=0,08
  - Similaridad
    - Red Profesor T-student p>0,05
    - RCB T-student p=0,08
    - Influencia profesor T-student muestra apareadas p<0,01
- **Cuestionario** (Normal, Bueno, Muy Bueno) .
  - Intervención-Puntajes altos U-Mann-Whitney p=0,02

### Síntesis de Resultados

- **WebQDA**
  - Alumnos de Aquaroca más respuestas positivas
  - Alumnos de Control más respuestas negativas
  - Alumnos de Aquaroca mayor calidad respuestas
- **Redes Pathfinder**
  - Igual Coherencia en ambos grupos
  - Redes de Aquaroca más complejas (parcialmente)
  - Similaridad
    - Igual entre la red del profesor y los grupos
    - Igual entre la RCB y los dos grupos
    - Mayor influencia del docente que de libros
- **Cuestionario**
  - Alumnos de Aquaroca más respuestas positivas

### Respiración Celular

- **WebQDA**
  - Intervención - Respuestas positivas  $\chi^2(3)$  15,26, p<0,01
  - Intervención - Respuestas negativas  $\chi^2(2)$  8,50, p=0,01
  - Calidad Respuestas. U-Mann-Whitney p<0,01
- **Redes Pathfinder**
  - Coherencia Redes p>0,05
  - Complejidad Redes U-Mann-Whitney p<0,01
  - Similaridad
    - Red Profesor T-student p=0,04
    - RCB T-student p>0,05
    - Influencia profesor T-student muestra apareadas p<0,01
- **Cuestionario** (Normal, Bueno, Muy Bueno).
  - Intervención-Puntajes altos U-Mann-Whitney p<0,01

### Síntesis de Resultados

- **WebQDA**
  - Alumnos de Aquaroca más respuestas positivas
  - Alumnos de Control más respuestas negativas
  - Alumnos de Aquaroca mayor calidad respuestas
- **Redes Pathfinder**
  - Igual Coherencia en ambos grupos
  - Redes de Aquaroca más complejas
  - Similaridad
    - Mayor de Aquaroca con la Red del docente
    - Igual entre la RCB y los dos grupos
    - Mayor influencia del docente que de libros
- **Cuestionario**
  - Alumnos de Aquaroca más respuestas positivas

### Fermentación

- **WebQDA**
  - Intervención - Respuestas positivas  $\chi^2(3)$  13,03, p=0,01
  - Intervención - Respuestas negativas  $\chi^2(2)$  1,13, p=0,29
  - Calidad Respuestas. U-Mann-Whitney p<0,01
- **Redes Pathfinder**
  - Coherencia Redes p>0,05
  - Complejidad Redes U-Mann-Whitney p=0,08
  - Similaridad
    - Red Profesor T-student p>0,05
    - RCB T-student p>0,05
    - Influencia profesor T-student muestra apareadas p<0,01
- **Cuestionario** (Normal, Bueno, Muy Bueno).
  - Intervención-Puntajes altos U-Mann-Whitney p=0,01

### Síntesis de Resultados

- **WebQDA**
  - Alumnos de Aquaroca más respuestas positivas
  - Igual cantidad de respuestas negativas
  - Alumnos de Aquaroca mayor calidad respuestas
- **Redes Pathfinder**
  - Igual Coherencia en ambos grupos
  - Redes de Aquaroca más complejas (parcialmente)
  - Similaridad
    - Igual entre la red del profesor y los grupos
    - Igual entre la RCB y los dos grupos
    - Mayor influencia del docente que de libros
- **Cuestionario**
  - Alumnos de Aquaroca más respuestas positivas

### Fotosíntesis

- **WebQDA**
  - Intervención - Respuestas positivas  $\chi^2(2)$  4,74, p>0,05
  - Intervención - Respuestas negativas  $\chi^2(1)$  10,42, p<0,05
  - Calidad Respuestas. U-Mann-Whitney p>0,05
- **Redes Pathfinder**
  - Coherencia Redes p>0,05
  - Complejidad Redes U-Mann-Whitney p>0,05
  - Similaridad
    - Red Profesor T-student p=0,01
    - RCB U-Mann-Whitney p>0,05
    - Influencia profesor Wilcoxon p>0,05
- **Cuestionario** (Normal, Bueno, Muy Bueno).
  - Intervención-Puntajes altos U-Mann-Whitney p<0,01

### Síntesis de Resultados

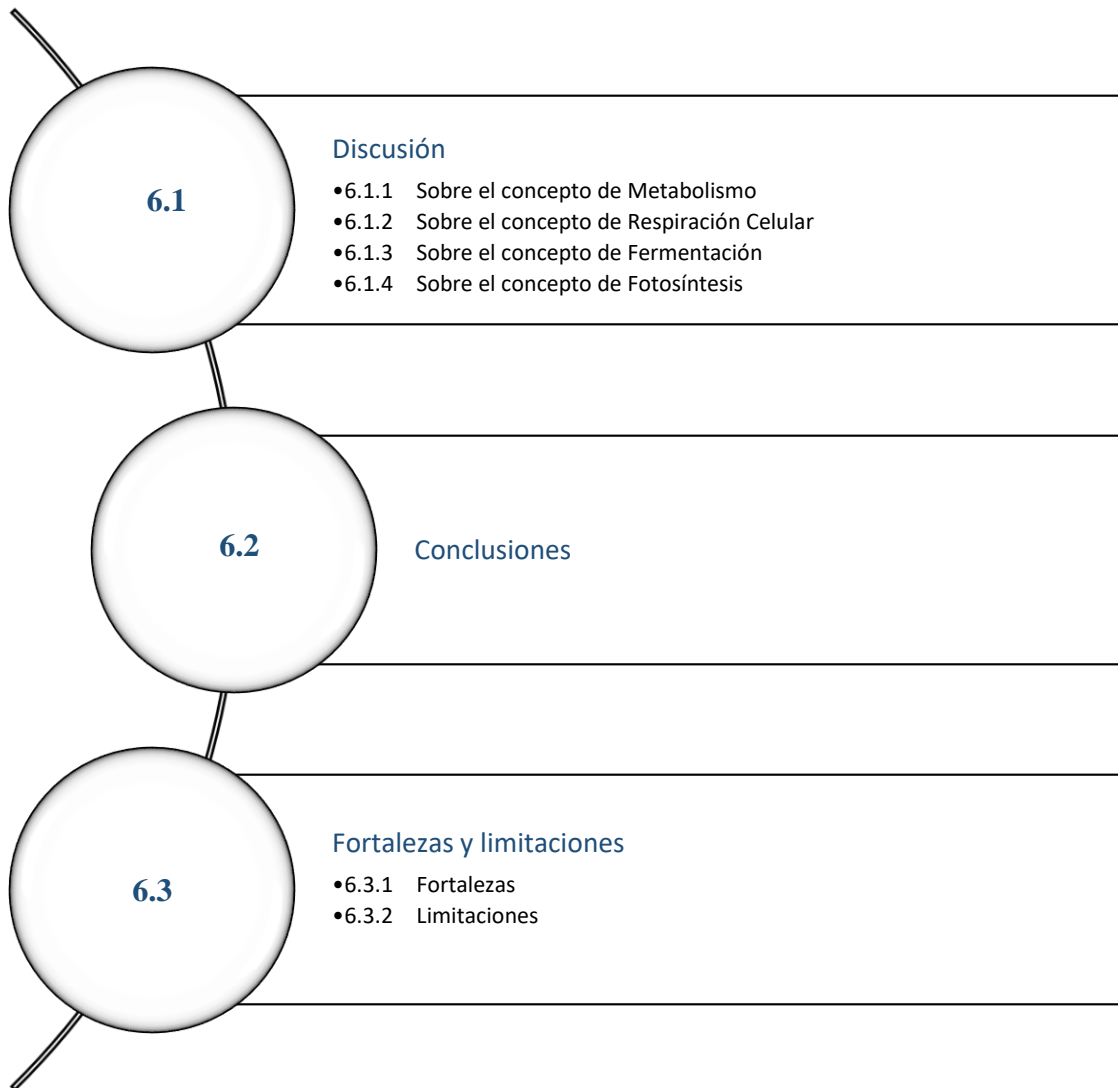
- **WebQDA**
  - Alumnos de Aquaroca más respuestas positivas
  - Alumnos de Control más respuestas negativas
  - Alumnos de Aquaroca mayor calidad respuestas
- **Redes Pathfinder**
  - Igual Coherencia en ambos grupos
  - Igual Complejidad
  - Similaridad
    - Mayor de Aquaroca con la Red del docente
    - Igual entre la RCB y los dos grupos
    - Igual influencia del docente que de los libros
- **Cuestionario**
  - Alumnos de Aquaroca más respuestas positivas



*El individuo que juzga el mundo real y al del conocimiento como algo acabado e incomprensible, está claro que carecerá de iniciativa para mejorar ese mundo real, o para tratar de verificar, extender, corregir o aplicar el mundo del conocimiento.*

A. Garza (1967)

# Capítulo 6. Discusión y Conclusiones





## **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Para concluir, en este capítulo de la tesis, se plantean la discusión y conclusiones, para terminar con las fortalezas y limitaciones del estudio.

El apartado de la discusión se ha estructurado de tal forma que se parte del análisis de los resultados desde un plano más general para posteriormente profundizar en el estudio de cada concepto en particular.

Por otro lado, la presentación de la información en el epígrafe de conclusiones ha parecido más conveniente realizarlo en forma de veinticuatro sentencias que condensan y sintetizan las principales aportaciones descritas.

### **6.1 Discusión**

La sociedad en la que vivimos demanda de los docentes que formemos a jóvenes no solo en conceptos sino en una serie de capacidades básicas que se han venido en denominar competencias, para las que las metodologías tradicionales se encuentran obsoletas.

En la presente Tesis Doctoral se ha abordado el aprendizaje de conceptos relacionados con el metabolismo celular mediante el empleo de una metodología fundada en el aprendizaje cooperativo y apoyada en proyectos STEM, método que permite una formación basada en competencias, además de propiciar una alta satisfacción en los estudiantes y mejorar la posibilidad de aprender a aprender a lo largo de la vida (Bron, 2019).

A la luz los resultados obtenidos con el proyecto Aquaroca, que indican una mejoría significativa en el aprendizaje de los principales conceptos metabólicos y, por tanto, la generación de unas redes cognitivas más

coherentes, coincidimos con Bradforth et al. (2015) y Cubero et al. (2018) en que el uso de una metodología cooperativa permite facilitar el aprendizaje de los procesos metabólicos (García et al., 2021a) y la necesaria adquisición de una formación científica de base como parte esencial de la educación básica y general de todas las personas (Acevedo, 2004; Buch, 2003; Edwards et al., 2004; Rodas & Cubero, 2022). De igual manera, con los impulsores del aprendizaje cooperativo (Baker, 2000; Cossette et al., 2004; Morales-Mann & Kaitell, 2001), que sostienen que los estudiantes que aprenden a través de esta metodología logran integrar conocimientos y mejoran sus razonamientos, además de mantener la motivación y utilizar estrategias que les permiten un aprendizaje profundo.

En correspondencia con nuestra investigación, en la que el proceso de indagación formó parte inseparable del proceso de aprendizaje del alumno, tanto a nivel de laboratorio como a nivel trabajo de campo, multitud de trabajos señalan las bondades de este tipo de instrucción en tanto en cuanto favorece el aprendizaje de conceptos relacionados con las Ciencias, permite la adquisición de destrezas prácticas y de “hábitos mentales” científicos, facilita el desarrollo de habilidades para resolver problemas, estimula la creatividad en Ciencias y potencia el interés y la motivación hacia las disciplinas científicas (Abdi, 2014; Hofstein & Mamlok, 2011; Russell & Weaver, 2011; Shana & Abulibdeh, 2020).

Sin embargo, también hemos encontrado que para los alumnos poco interesados en la asignatura, como demuestran tanto las redes de los alumnos que suelen ser poco coherentes, como los resultados obtenidos con puntajes

más bajos y presencia de algunos conceptos erróneos, este tipo de investigación aunque es efectivo a nivel manipulativo y emocional, no lo suele ser tanto a la hora de reflexionar sobre los datos recogidos y generar verdadero conocimiento, lo cual, ya ha sido puesto de manifiesto por algunos trabajos (Abrahams & Millar, 2008; López & Tamayo, 2012). Aunque una de las posibles causas que subyace en muchos de los estudios realizados anteriormente sea la mala implementación de las actividades prácticas que las tornan tediosas y monótonas generando sensaciones negativas al estudio de las Ciencias (Espinosa et al., 2016; Neira et al., 2021) en nuestro caso, las emociones generadas por el proyecto Aquaroca manifestadas por el propio alumnado son muy satisfactorias.

Además del empleo del proyecto Aquaroca como marco metodológico del proceso de Enseñanza-Aprendizaje, ya de por sí innovador, el hecho de utilizar varios tipos de técnicas para el estudio de los resultados y utilizarlos de manera conjunta y complementaria, combinando el análisis cualitativo mediante WebQDA, con el cuantitativo y con el estudio de las redes asociativas, aumenta la profundidad de comprensión que una investigación puede producir, puesto que cada método revela facetas ligeramente diferentes de la misma realidad simbólica (Lune & Berg, 2017).

El análisis cualitativo de los textos de los alumnos realizado mediante WebQDA reveló la presencia de ideas alternativas para los conceptos metabólicos estudiados. Los resultados obtenidos en la presente tesis se encuentran en sintonía con investigaciones anteriores ya citadas en el capítulo dedicado al marco teórico de este trabajo (Cañal, 1999; Charrier et al., 2006;

Díaz et al., 1996; Duda et al., 2019; Garófalo et al., 2014; Köse, 2008), pero además muestran que los alumnos que han recibido la instrucción mediante la metodología basada en el proyecto, presentan menos errores conceptuales y lo que es más importante, que sus respuestas son más completas y ricas. Esto sugiere un aprendizaje más profundo por parte de dicho alumnado, como apuntan los estudios previos citados anteriormente (García et al., 2021a; Magnarelli et al., 2009; Pereira & Ferreira, 2021; Souza et al., 2015).

El estudio pormenorizado de los conceptos metabólicos trabajados mediante el análisis cualitativo también manifestó que las definiciones que presentaban los alumnos del grupo Aquaroca, hallaban una relación causal entre los procesos metabólicos y los procesos fisiológicos mediante los que se manifiestan, lo cual podría remediar el aprendizaje exclusivamente memorístico y descontextualizado observado para el estudio de los conceptos bioquímicos notificado por diferentes autores (Charrier et al., 2015; Garófalo, 2010; Magnarelli et al., 2009; Ruíz, 2017).

Por otro lado, se han encontrado estudios longitudinales de redes asociativas de alumnos (Roldán et al., 2018) que señalan que la complejidad de las redes es mayor en los alumnos que obtienen mejores calificaciones con lo cual coincidimos, aunque con el tiempo se produzca una disminución de la complejidad de dichas redes, derivada del efecto olvido que se produce para aquellos conceptos que son considerados menos importantes por el alumno, lo que según el autor, se correspondería con los senderos de mínimo coste que propone la Teoría de los Conceptos Nucleares (Casas & Luengo 2004).

En esta tesis hemos hallado que los alumnos cuyo aprendizaje se basó en la metodología Aquaroca presentan unas redes mentales o cognitivas más complejas que los alumnos que siguieron una metodología tradicional para los conceptos relacionados con el metabolismo. Estos datos obtenidos con redes asociativas presentan cierto paralelismo con los que se ha obtenido a nivel neurofisiológico en algunos estudios en los que la mejora del rendimiento cognitivo se relaciona con mayores coeficientes de agrupación, complejidad de la red, fortaleza de las conexiones y longitudes de ruta más cortas (Heitger et al., 2012).

No obstante, el hallazgo más significativo es que las redes cognitivas del alumnado que recibió la instrucción activa, se asemejan más a la red del profesor, lo cual apunta a una mayor influencia del docente en el aprendizaje del alumno que cuando se utiliza una metodología tradicional.

Soto (2021), también a través de estudios longitudinales, señala que las metodologías influyen en la coherencia y complejidad de las redes que el alumno desarrolla, siendo en general más simples que los que utilizan una metodología tradicional. En nuestro estudio transversal, sin embargo, hemos encontrado que las redes son por el contrario más complejas y mucho más similares a las del docente que los que emplean la metodología tradicional. Para contrastar más adecuadamente tales resultados sería conveniente en un futuro, realizar un estudio longitudinal para comprobar la evolución de las redes de los alumnos del grupo Aquaroca frente al grupo Control.

Finalmente, el análisis cuantitativo de los cuestionarios cerrados, corrobora lo mostrado por el análisis con WebQDA y con las redes asociativas

pathfinder, esto es, que la metodología Aquaroca produce aprendizajes más significativos para los conceptos relacionados con el metabolismo celular.

#### 6.1.1 Sobre el concepto de Metabolismo

La adquisición de unos sólidos conocimientos acerca del metabolismo celular es crucial para preparar a los estudiantes que encaminen su trayectoria profesional hacia las ciencias de la salud, biológicas y agrícolas (Pereira & Ferreira, 2021).

En nuestro estudio, hemos encontrado para el concepto de metabolismo, la presencia de errores conceptuales relacionados con la utilización social del concepto en los alumnos del grupo Control, debido a una conexión incorrecta entre el mundo macro y microscópico como sugieren diversos autores (Garófalo, 2010; Zaforas, 1991); sin embargo, el grupo Aquaroca no solo no los presentó sino que señaló relativo al metabolismo que las reacciones bioquímicas que se producen a nivel celular condicionan los procesos vitales de los organismos hasta el punto que éstos se clasifican en función del mismo. Estos resultados coinciden con otros obtenidos en trabajos que utilizaban el huerto escolar como metodología, en la que se producen aprendizajes relevantes ya que se permite acercar el modelo ecosistema a los modelos celulares a través de conceptos como los flujos energéticos o ciclos biogeoquímicos (Eugenio et al., 2018; García, 2005).

Hemos comprobado también cómo el alumnado de Aquaroca reconoce y caracteriza mejor los diferentes tipos de metabolismo, lo cual es debido a su interacción diaria con sus diversos modelos: autótrofos (foto y quimiosintéticos) y heterótrofos. Resultados que coinciden con los estudios de

Martínez et al. (2014), que desarrollan su propuesta didáctica en el laboratorio combinando la teoría con la experimentación.

El análisis de las redes cognitivas del alumnado nos muestra que el concepto nuclear del metabolismo es la energía, es decir, el alumno entiende que el metabolismo es básicamente la obtención de energía, lo cual se podía apreciar ya en los datos obtenidos mediante WebQDA; al mismo tiempo se puede ver que conceptos como glúcidos tienen muy poco peso, ya que se entiende exclusivamente como el sustrato necesario para producir energía. En esa misma línea, el concepto de fotosíntesis se encuentra en el extremo opuesto al metabolismo, lo que potencia la idea de que el alumno no relaciona el metabolismo con su fase anabólica. Este hecho puede deberse, como suscriben algunos autores, a la mala organización de los contenidos metabólicos a enseñar, así en un estudio realizado por Chen & Ni (2013) mostraban que se conseguía una mejoría en el proceso de aprendizaje del alumnado con una simple reorganización en la estructura de los contenidos y en el orden en el que se enseñaban las rutas metabólicas; y es que en bachillerato el metabolismo anabólico se ciñe exclusivamente a la fotosíntesis, de hecho, hemos comprobado cómo la red de la ciencia obtenida a partir de los libros de texto presenta como concepto nuclear principal la Respiración Celular, lo que puede inducir al alumnado a creer que solo las plantas fabrican materia orgánica, de ahí la necesidad de potenciar el estudio de procesos anabólicos como la quimiosíntesis o la gluconeogénesis que evitaría esos errores conceptuales a la par que permitiría un mejor aprendizaje de la ruta glucolítica (Chen & Ni, 2013; Hanson, 2002; Schultz, 2005).

Las redes cognitivas, aunque dependen de nuestra genética pueden verse influenciadas por experiencias específicas como son las intervenciones educativas (Posner & Rothbart, 2005); en esta línea de trabajo, hemos comprobado cómo hay una influencia mayor sobre los alumnos del proyecto Aquaroca que sobre los del grupo Control, lo cual se manifiesta en que las redes de los primeros se parecen más a la red cognitiva del docente.

#### 6.1.2 Sobre el concepto de Respiración Celular

El concepto de Respiración Celular es uno de los más presentes en la bibliografía debido tanto a su importancia y complejidad como a la cantidad de errores que suscita. Nuestros estudios coinciden en la presencia de errores de tipo universal ya detectados por otros autores como la no discriminación entre ventilación y respiración celular, considerando esta última como un simple mecanismo de intercambio gaseoso (Banet & Núñez, 1990; Çakir et al., 2002b; Charrier et al., 2006; Garófalo, 2010; Martínez et al., 2014; Zaforas, 1991). Esto es debido entre muchas otras causas a la dificultad que presentan los estudiantes para imaginar, comprender y conectar fenómenos biológicos complejos que ocurren a nivel microscópico con el mundo macroscópico (Farina, 2013; Salinas, 2020; van Mil et al., 2013).

Otro de los errores clásicos detectados es la confusión entre respiración y fotosíntesis en plantas ya descrita (Astudillo & Gene, 1984b; Cañal, 1999; Charrier et al., 2006). También hemos detectado entre los alumnos del grupo Control que no consideran la respiración como proceso de producción de energía o no saben para que la utiliza luego el organismo, lo cual ya ha sido reportado por otros autores (Hartley et al., 2011; Wilson et al., 2006).



En líneas generales coincidimos con Martínez (2014) en que la combinación de conceptos teóricos y la realización programada de prácticas de laboratorio apuntalan los aprendizajes significativos para el concepto de Respiración Celular. También Güneş (2011), cuyo grupo experimental trabajó el concepto mediante la elaboración de modelos de las vías metabólicas en el laboratorio, encuentra que dichos alumnos obtienen resultados más exitosos y generan menos conceptos erróneos que el grupo de control.

El estudio de la red cognitiva o mental media del grupo Control mostró una falta de coherencia en la misma, lo que confirmaría que muchos estudiantes cuando se enfrentan a estos conceptos, lo hacen mediante un aprendizaje memorístico que obvia los principios que gobiernan y conectan estos procesos metabólicos, lo cual se ajusta a lo hallado por otros autores (Bergan-Roller et al., 2017; Garófalo et al., 2014; Hartley et al., 2011; Pérgola & Galagovsky, 2020), mostrando además una disociación entre orgánulo (mitocondria) y proceso bioquímico (respiración) (Pérgola & Galagovsky, 2020; Salinas, 2020). La red media del grupo Aquaroca, por el contrario, reveló una estructura más coherente en la que integraban los procesos fisiológicos de la respiración y de la alimentación con el proceso bioquímico de la Respiración celular. Por otro lado, el hecho de que la red del profesor sea significativamente más parecida a la red de los alumnos del grupo Aquaroca que a la de los del grupo Control, sugiere un aprendizaje más significativo y menos memorístico por parte del grupo experimental.

### 6.1.3 Sobre el concepto de Fermentación

La fermentación es de todos los conceptos estudiados el más desconocido (Duda et al., 2019) y genera graves errores conceptuales derivados de la incapacidad del alumnado de asociar situaciones cotidianas como son la elaboración de alimentos y bebidas fermentadas con los procesos bioquímicos que los producen. En el presente estudio hemos podido constatar estas dificultades que coinciden con estudios anteriores (Finger et al., 2019; Díaz et al., 1996; Rodas, 2009; Salinas, 2020).

Concordamos con Martínez et al. (2014) en que la aplicación de sistemas de enseñanza que impliquen el uso de herramientas cognitivas diversas, como Aquaroca, nos permiten generar representaciones externas de los procesos catabólicos para que los alumnos puedan abordarlos desde distintos niveles de representación y les facilite la reconstrucción de su conocimiento acerca de la fermentación en los seres vivos.

En este sentido los datos obtenidos nos muestran cómo los estudiantes de Aquaroca entienden mejor que los alumnos del grupo Control que la fermentación es un proceso que se realiza para obtener energía y que genera una serie de metabolitos secundarios que son utilizados en muchos casos por el hombre como fuente de alimentación o bebidas; de esa manera integran el concepto bioquímico con el mundo macroscópico. Esta apreciación queda muy bien reflejada en las redes medias de ambos grupos, ya que mientras el grupo Control presenta a la fermentación completamente desubicada, muy apartada de los conceptos metabólicos lo que sugiere una falta de integración del concepto en sus redes cognitivas, los alumnos de Aquaroca la presentan

emplazada dentro del metabolismo y cuya función es la obtención de energía, ligando mediante el concepto glúcido los procesos fisiológicos con los bioquímicos.

Por otro lado, y en este caso para ambos grupos, se aprecia una mayor influencia del docente en el proceso de Enseñanza-Aprendizaje, que de los libros de texto representados por la Red de la Ciencia, lo cual sería atribuible, pese a ser un recurso ampliamente empleado por los docentes, a que suelen presentar sus contenidos de manera declarativa, con actividades escasas, orientadas a la repetición de conceptos y a la aplicación de la teoría, como ya han sugerido diversos autores (Barros & Losada, 2005; Esteve & Jaén, 2013; Ferreiro & Occelli, 2008; Rodríguez & Marrero, 2003).

#### 6.1.4 Sobre el concepto de Fotosíntesis

La fotosíntesis junto a la Respiración Celular es el concepto metabólico que más dificultades genera en los estudiantes (Astudillo & Gene, 1984; Cañal, 1991), a pesar de ser fácilmente observable a nivel experimental en el laboratorio (Güneş, 2011), debido a que su enseñanza sigue manteniendo una lógica disciplinar y enciclopedista, que fomenta un aprendizaje memorístico por parte de los alumnos (Charrier et al., 2015).

En nuestro estudio hemos descubierto errores recurrentes en la concepción de la fotosíntesis por parte del alumnado, en los que atribuyen al proceso fotosintético el papel de Respiración Celular en plantas, que éstas fotosintetizan por el día y respiran por la noche o que la función de la fotosíntesis es la producción de oxígeno (Cañal, 1999; Charrier et al., 2006; Domingos et al., 2004; Köse, 2008). En esta línea, hemos encontrado también,

dificultades en la comprensión de la función del cloroplasto, el cual se convierte para algunos en la “mitocondria” de las células vegetales (Zaforas, 1991).

En todos los casos hemos detectado una mejoría con la aplicación del proyecto Aquaroca que incluso erradica algunas ideas que siguen apareciendo en los alumnos del grupo Control, según la cual el crecimiento vegetativo se produce gracias a la absorción de los nutrientes que estarían exclusivamente en el suelo (González et al., 2009; Özay & Öztas, 2003). Sin embargo, sigue pesando en el alumnado mucho más la fase luminosa que la oscura, lo cual se ve reflejado en las redes de ambos grupos, en los que la producción de energía es primordial y no tanto la formación de glucosa, lo que puede conducir a errores conceptuales.

Cabe destacar también que las redes cognitivas del alumnado objeto de la metodología Aquaroca, son más similares a las del profesor que las del grupo Control. Aun así, se pone nuevamente de manifiesto la complejidad del concepto fotosíntesis, por lo que coincidimos con Panijpan et al. (2008) en la necesidad del empleo de aprendizajes integradores como Aquaroca.

Finalmente, otro aporte del proyecto experimental, es la apreciación por parte del alumno del flujo del nitrógeno desde los animales hacia las plantas, que redundando en su crecimiento vegetativo, lo que sugiere que este método puede ser empleado no solo para la mejor comprensión del metabolismo observando los flujos de materia y energía del ciclo del carbono sino también como modelo del ciclo del nitrógeno.

## 6.2 Conclusiones

1.- Se producen mejoras estadísticamente significativas en el aprendizaje del Concepto de Metabolismo usando la metodología Aquaroca, no solo porque los alumnos son capaces de definir con mayor precisión y riqueza el concepto, sino porque además los errores que cometen son menores, erradicando ideas y conocimientos previos erróneos, demostrando que son capaces de establecer conexiones a nivel trófico entre autótrofos, heterótrofos y descomponedores, así como entre los procesos de óxido-reducción implicados.

2.- Los alumnos que recibieron la metodología Aquaroca son capaces de relacionar el mundo macro con el microscópico a través de una mayor profundización en los ciclos de la materia, especialmente del carbono y del nitrógeno pudiendo conectar procesos catabólicos como la Respiración Celular con los anabólicos como la Fotosíntesis o los procesos quimiosintéticos.

3.- La utilización de peces en la metodología Aquaroca elimina los errores conceptuales que confunden ventilación con respiración.

4.- La metodología Aquaroca, permite comprender a los estudiantes que la obtención del Oxígeno del aire a través de las estructuras respiratorias, es imprescindible, dentro del catabolismo aeróbico, para la extracción a nivel celular de energía química (fundamentalmente en forma de ATP) de los nutrientes y que la función principal del proceso bioquímico no es una suerte de intercambio gaseoso a nivel microscópico.

5.- La metodología Aquaroca permite entender la obtención de energía a partir del proceso bioquímico que implica fenómenos redox en los que están

involucrados tanto la materia orgánica como el oxígeno, por lo que se producen mejoras significativas en el aprendizaje del concepto de Respiración Celular, definiendo el concepto con mayor precisión y calidad.

6.- La metodología Aquaroca ha demostrado que se producen mejoras significativas en el aprendizaje del concepto de fermentación, en cuanto al rigor y exactitud de las definiciones.

7.- La metodología Aquaroca permite disminuir significativamente de forma estadística, algunos errores conceptuales como la confusión de las consecuencias físico-químicas que se producen en los alimentos (relacionadas tanto con su degradación o con la pérdida de cualidades organolépticas como con su elaboración) con la causa, que no es más que el proceso microbiológico que subyace.

8.- La metodología Aquaroca permite establecer las relaciones de dependencia de los procesos de óxido-reducción de la materia orgánica con el catabolismo y su biotransformación en energía química, así como la necesidad de las reacciones fermentativas para la consiguiente producción de cofactores oxidados que mantengan en funcionamiento las principales rutas metabólicas.

9.- La metodología Aquaroca permite definir con mayor precisión y riqueza las reacciones fotosintéticas incurriendo en una menor cantidad de errores, sobre todo relacionados con el papel del oxígeno y las relaciones existentes entre la Fotosíntesis y la Respiración Celular.

10.- Los alumnos del grupo Aquaroca entienden el Oxígeno como un producto de desecho resultante de un proceso cuyo objetivo es la obtención de

materia orgánica y no como un fin en sí, dándole una mayor importancia al papel del dióxido de carbono y a la transformación de la energía luminosa en energía química necesaria para llevar a cabo tales procesos. Estos hechos favorecen la diferenciación, pero también la conexión con la Respiración Celular como ruta metabólica que usa el oxígeno para la obtención de la energía presente en la materia orgánica, enlazando por tanto los conceptos puramente bioquímicos con el papel que juegan a nivel de ecosistema, desterrando las preconcepciones que definían a la Fotosíntesis como la Respiración de las plantas al ser expuestas a la luz solar.

11.- Las redes asociativas de corte cognitivo elaboradas para los conceptos estudiados por parte del alumnado del grupo Aquaroca y el grupo Control no presentan diferencias significativas en cuanto a la coherencia interna de las mismas. Esto indica que el proceso de recogida de datos no influye en la obtención de dichas redes independientemente de la metodología empleada y, por tanto, lo caracteriza como un excelente medidor de las estructuras cognitivas del alumno en un momento determinado.

12.- Las redes asociativas que presenta el alumnado de Aquaroca tanto para el concepto de Metabolismo como para el de Fermentación tienden a ser más complejas que las que presenta el grupo Control.

13.- Para el concepto de Respiración Celular, las redes de los grupos Aquaroca y Control presentan diferencias significativas, mostrando el grupo Aquaroca redes más complejas y densas y con más conceptos nucleares que el grupo Control.

14.- Para el concepto de fotosíntesis no se han encontrado diferencias entre el grupo Aquaroca y el control en cuanto a la complejidad de las redes asociativas de corte cognitivo que producen. Estos datos, no obstante, sugieren que un aumento poblacional podría confirmar que la metodología desarrollada genera redes más complejas tras el proceso de instrucción.

15.- Se aprecia una mayor similitud de las redes del profesor con el alumnado del grupo Aquaroca que con el del grupo Control.

16.- Para los conceptos más complejos como son la Respiración Celular y la Fotosíntesis aparecen diferencias muy significativas entre el grupo Aquaroca y el grupo Control, siendo más próxima la Red Media del grupo Aquaroca a la Red del Profesor, lo que indica la mayor influencia del docente en el aprendizaje del alumno al utilizar la metodología Aquaroca.

17.- En el caso de los conceptos de Metabolismo y Fermentación se aprecian efectos marginales de la metodología Aquaroca en las redes medias en favor de dicha metodología, lo que sugiere la conveniencia de la realización de estudios con poblaciones más amplias para confirmarlo.

18.- Los resultados demuestran que para los cuatro conceptos estudiados Metabolismo, Respiración Celular, Fermentación y Fotosíntesis las redes asociativas medias de la metodología Aquaroca no presentan diferencias significativas con el grupo Control y por tanto, son similares a la red de la Ciencia, pero sin embargo, sí que aparece una mayor similaridad de las redes de los dos grupos con las del profesor que con la obtenida a partir de los libros de texto, lo que sugiere una mayor influencia del docente sobre las redes de los



alumnos que la que presentan los libros de texto, probablemente debido a la complejidad inherente a estos conceptos.

19.- El uso de la metodología Aquaroca produce una mejora en el aprendizaje de los conceptos metabólicos básicos: Metabolismo, Respiración Celular, Fermentación y Fotosíntesis, y también en la disminución de errores conceptuales tipo y en la generación de potenciales cambios tanto en el desarrollo cognitivo del alumnado como en sus actitudes y motivaciones hacia la Ciencia.

20.- La metodología Aquaroca mejora significativamente los resultados obtenidos por el alumnado para todos los conceptos implicados frente a una metodología magistral, generando actitudes positivas hacia la Ciencia, el proceso científico, los seres vivos del entorno en el que vivimos y la Naturaleza en general.

21.- La metodología Aquaroca disminuye la cantidad de errores conceptuales que presenta el alumnado que sigue la metodología tradicional, puesto que permite conectar el mundo microscópico con el macroscópico, favoreciendo el establecimiento de relaciones entre los diferentes procesos bioquímicos a nivel celular y los fenómenos fisiológicos que ocurren a nivel del organismo, así como las implicaciones que tienen dichas reacciones metabólicas a nivel global.

22.- La metodología Aquaroca modifica las estructuras cognitivas del alumno produciendo en general redes asociativas Pathfinder más complejas que usando la metodología tradicional. Así mismo, las redes cognitivas producidas por el alumnado perteneciente al grupo Aquaroca son significativamente más

parecidas a las redes del experto que las del grupo Control, lo que revela una mayor influencia del docente en el proceso de Enseñanza-Aprendizaje que cuando se aplica una metodología clásica.

23.- La metodología Aquaroca facilita especialmente el trabajo de la competencia matemática y competencia en ciencia, tecnología e ingeniería, así como las competencias específicas de 1º de Bachillerato, proponiendo situaciones de aprendizaje en las que aplicar los saberes básicos adquiridos y permitiendo trabajar los temas transversales relacionados con el conocimiento de la sostenibilidad.

24.- La metodología Aquaroca favorece la educación inclusiva, atendiendo a la diversidad del alumnado y fomentando la cooperación entre diferentes niveles educativos.

### **6.3 Fortalezas y limitaciones**

Los resultados de la investigación han confirmado que el proyecto de innovación educativa Aquaroca, ha permitido al docente disponer de un recurso didáctico que fomenta la implicación del alumnado y su responsabilidad sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje, adquiriendo unos aprendizajes más significativos que los logrados por los alumnos pertenecientes al grupo Control. Además, muestra la gran importancia que adquiere el docente en dicho proceso, generando una mayor influencia en la elaboración de las estructuras cognitivas de los discentes.

### 6.3.1 Fortalezas

Esta experiencia didáctica es fácilmente replicable, al menos en parte, en otros centros educativos, tanto a nivel de secundaria como de primaria brindando enfoques de aprendizaje múltiple.

Establece un vínculo positivo con la naturaleza y con el tratamiento a los diferentes seres vivos, lo que permite la cercanía con los mismos y la posibilidad de emplearlos como modelos en las situaciones de aprendizaje de las rutas metabólicas, tanto a nivel de organismo como de ecosistema.

Fomenta las vocaciones científicas entre el alumnado, a través del desarrollo de los hábitos y procedimientos del trabajo científico, dando un sentido y un fin a las actividades de laboratorio, evitando que queden como prácticas aisladas y no procuren el efecto educativo que se persigue.

Fomenta el trabajo multidisciplinar en los Centros de Secundaria. Este proyecto permite la inclusión de departamentos no solo relacionados con los proyectos STEM (Ciencias Naturales, Física y Química, Matemáticas, o Tecnología) sino también a otros relacionados con las Ciencias Sociales como Economía, Geografía e Historia u Orientación, e incluso departamentos lingüísticos.

Permite trabajar el currículo mediante la adquisición de competencias y se sitúa preferencialmente en la línea del ordenamiento legislativo emanado de la LOMLOE, ya que se basa en la utilización de saberes básicos para la consecución de competencias específicas y generales.

### 6.3.2 Limitaciones

Aunque para el trabajo a nivel de laboratorio no plantea más problema que la ubicación de los acuarios, la filosofía multidisciplinar del proyecto provoca que una gran diversidad de Departamentos Didácticos participe del mismo, lo que requiere un esfuerzo de coordinación extra por parte del profesorado, para que se procuren unas situaciones de aprendizaje adecuadas al alumnado.

En línea con el punto anterior es necesario la implicación del docente, sin la cual la metodología se reduce a una única actividad de aprendizaje. En este sentido se hace necesaria una formación pedagógica suficiente del docente y una organización cuidadosa del proceso, para evitar la sobrecarga de trabajo y el consiguiente abandono de la metodología.

**NOTA: Las referencias a personas o colectivos en género masculino se hacen por economía del lenguaje y deben entenderse como un género gramatical no marcado.**

## BIBLIOGRAFÍA

- Abdi, A. (2014). The Effect of Inquiry-based Learning Method on Students' Academic Achievement in Science Course. *Universal Journal of Educational Research*, 2(1), 37–41. <https://doi.org/10.13189/UJER.2014.020104>
- Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945–1969. <https://doi.org/10.1080/09500690701749305>
- Acevedo-Díaz, J. A., & García-Carmona, A. (2016). Uso de la historia de la ciencia para comprender aspectos de la naturaleza de la ciencia. Fundamentación de una propuesta basada en la controversia Pasteur versus Liebig sobre la fermentación. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 11(33), 203–226. <https://www.redalyc.org/journal/924/92447592011/html/>
- Acevedo Díaz, J. A. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 1(1), 3–16. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2004.v1.i1.01](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2004.v1.i1.01)
- Akçay, S. (2017). Prospective elementary science teachers' understanding of photosynthesis and cellular respiration in the context of multiple biological levels as nested systems. *Journal of Biological Education*, 51(1), 52–65. <https://doi.org/10.1080/00219266.2016.1170067>
- Albaladejo, C., & Caamaño, A. (1992). Las concepciones previas de los alumnos. Estrategias para lograr el cambio conceptual. In C. Albaladejo, A. Caamaño, & M. P. Jiménez (Eds.), *Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza*. (pp. 57–94). Madrid: MEC.
- Alberts, B., Johnson, A. D., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014). *Molecular Biology of Cell* (6 th). W. W. Norton & Company.
- Altieri, M. A. (2004). Linking ecologists and traditional farmers in the search for

sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2, 35–42.  
<https://www.semanticscholar.org/paper/Linking-ecologists-and-traditional-farmers-in-the-Altieri/0f44b3b03cb6dde84b8b38683c7ff98d8648b00c>

Alzate Agudelo, E. A. (2021). *El fenómeno del crecimiento en plantas como un proceso multicausal desde los problemas de conocimiento*. [Trabajo de Grado, Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá].

Amirkolaie, A. K. (2011). Reduction in the environmental impact of waste discharged by fish farms through feed and feeding. *Reviews in Aquaculture*, 3(1), 19–26.  
<https://doi.org/10.1111/J.1753-5131.2010.01040.X>

Amith, M., Cohen, T., Cunningham, R., Savas, L. S., Smith, N., Cuccaro, P., Gabay, E., Boom, J., Schvaneveldt, R., & Tao, C. (2020). Mining HPV Vaccine Knowledge Structures of Young Adults From Reddit Using Distributional Semantics and Pathfinder Networks. *Cancer Control*, 27, 1–16.  
<https://doi.org/10.1177/1073274819891442>

Angosto Sánchez, I. (2018). *Análisis de los principales manuales de fisiología vegetal y de las concepciones de los estudiantes del Máster Universitario en Formación del Profesorado de ESO y Bachillerato de la UCM*. [Tesis Doctoral, Universidad Complutense De Madrid.]

Ardila, A., Arocho, J. L., Labos, E., & Rodríguez, W. (2015). *Diccionario de Neuropsicología*. [https://doi.org/DOI: 10.13140/2.1.3185.3124](https://doi.org/DOI:10.13140/2.1.3185.3124)

Arias-Masa, J., Contreras-Vas, J. A., Hidalgo Izquierdo, V., & Martín Espada, R. (2019). Medición de la aproximación de las redes medias de los alumnos a la red del profesor durante la instrucción usando Redes Asociativas Pathfinder. *CIAIQ2019. Investigación Qualitativa Em Ciências Sociais*, 3, 694–697.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-31787-4>

Astudillo Pombo, H., & Gene Duch, A. M. (1984). Errores conceptuales en biología la fotosíntesis de las plantas verdes. *Enseñanza de Las Ciencias*, 2(1), 15–16.

Ausubel, D., Novak, J., & Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa: Un punto de vista cognoscitivo*. Mexico: Trillas.

- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos De Fisiología Vegetal* (P. I. E. de la U. de Barcelona (ed.); 2.<sup>a</sup> Edició). McGraw-Hill.- Interamericana de España, S. L.
- Aznar Royo, J. I., & Alarcón, T. (2006). *Etimologías grecolatinas : orígenes del español* (2a ed.). Pearson Educación.
- Baker, C. M. (2000). Problem-based learning for nursing: Integrating lessons from other disciplines with nursing experiences. *Journal of Professional Nursing*, 16(5), 258–266. <https://doi.org/10.1053/JPNU.2000.9461>
- Bañas Sierra, C., Mellado Jiménez, V., & Ruiz Macías, C. (2003). Las ideas alternativas del alumnado de primer ciclo de Educación Secundaria Obligatoria sobre la conservación de la energía, el calor y la temperatura. *Campo Abierto*, 24, 99–126.
- Banet, E. (2000). La enseñanza y el aprendizaje del conocimiento biológico. In F. Perales & P. Cañal (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 449–503). Alcoy: Marfil.
- Banet, E., & Núñez, E. (1990). Esquemas conceptuales de los alumnos sobre la respiración. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 8(2), 105–110.
- Barron, B. J. S., Schwartz, D. L., Vye, N. J., Moore, A., Petrosino, A., Zech, L., & Bransford, J. D. (1998). Doing with Understanding: Lessons from Research on Problem- and Project-Based Learning. *The Journal of the Learning Sciences*, 7(3), 271–311.
- Barros, S. G., & Losada, C. M. (2005). La nutrición en textos escolares del último ciclo de Primaria y primero de Secundaria. *Enseñanza de Las Ciencias*, 1–6. [http://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc\\_a2005nEXTRA/edlc\\_a2005nEXTRAp234nuttex.pdf](http://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2005nEXTRA/edlc_a2005nEXTRAp234nuttex.pdf)
- Bayliss, W. M. (1915). Principles of general physiology. In *Principles of general physiology*. Longmans, Green and Co. <https://doi.org/10.1037/10963-000>
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en Hidroponía*. Editorial de la Universidad de la Plata.
- Bender, D. A., Botham, K. M., Weil, P. A., Kennelly, P. J., Murray, R. K., & Rodwell,



- V. W. (2013). *Harper. Bioquímica Ilustrada* (29 Ed). McGraw-Hill.  
[https://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB\\_BooksVis?cod\\_primaria=1000187&codigo\\_libro=4434](https://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=4434)
- Bentley, M., & Connaughton, V. P. (2021). A simple way for students to visualize cellular respiration: adapting the board game Mousetrap™ to model complexity. *CourseSource*, 4. <https://doi.org/10.24918/CS.2017.8>
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Stryer, L. (2008). *Bioquímica*. (Sexta Edic). Reverté S.A.
- Bergan-Roller, H. E., Galt, N. J., Dauer, J. T., & Helikar, T. (2017). Discovering Cellular Respiration with Computational Modeling and Simulations. *CourseSource*, 4, 1–8. <https://doi.org/10.24918/cs.2017.10>
- Bergan-Roller, H. E., Galt, N. J., Helikar, T., & Dauer, J. T. (2020). Using concept maps to characterise cellular respiration knowledge in undergraduate students. *Journal of Biological Education*, 54(1), 33–46. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1541001>
- Bizarro Torres, N., Luengo González, R., Casas García, L. M., & Torres Carvalho, J. L. (2015). Aplicación de las Redes Asociativas Pathfinder al análisis de los conceptos forma, tamaño y color en alumnos con Discapacidad Intelectual. *Revista Lusófona de Educação*, 29, 121–144.
- Blank, W. (1997). *Authentic instruction*. Tampa, FL,: University of South Florida.
- Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M., & Palincsar, A. (1991). Motivating Project-Based Learning: Sustaining the Doing, Supporting the Learning. *Educational Psychologist*, 26(3–4), 369–398. <https://doi.org/10.1080/00461520.1991.9653139>
- Bradforth, S. E., Miller, E. R., Dichtel, W. R., Leibovich, A. K., Feig, A. L., Martin, J. D., Bjorkman, K. S., Schultz, Z. D., & Smith, T. L. (2015). University learning: Improve undergraduate science education. *Nature*, 523, 282–284. <https://doi.org/10.1038/523282a>
- Bron, M. (2019). *El Aprendizaje Basado en Proyectos Colaborativos como método de aprendizaje en comunicación digital*. [Tesis Doctoral, Universidad Rey Juan Carlos]

de Madrid].

- Brown, M. H., & Schwartz, R. S. (2009). Connecting photosynthesis and cellular respiration: Preservice teachers' conceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(7), 791–812. <https://doi.org/10.1002/tea.20287>
- Bruner, J. S. (2001). *El proceso mental en el aprendizaje* (P. Manzano, Trad.) (Narcea (ed.); 1ª). <https://narceaediciones.es/es/educacion-hoy-estudios/499-el-proceso-mental-en-el-aprendizaje-9788427713697.html>
- Buch, T. (2003). CTS desde la perspectiva de la educación tecnológica. *Revista Iberoamericana De Educación*, 32, 147-163. *Revista Iberoamericana de Educación*, 32, 147–163. <https://doi.org/https://doi.org/10.35362/rie320926>
- Caamaño, A. (2007). Los trabajos prácticos en ciencias. In M. P. Jiménez Aleixandre (Ed.), *Enseñar Ciencias*. Barcelona: Grao.
- Çakir, Ö. S., Geban, Ö., & Yürük, N. (2002). Effectiveness of conceptual change text-oriented instruction on students' understanding of cellular respiration concepts. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 30(4), 239–243. <https://doi.org/10.1002/bmb.2002.494030040095>
- Calzadilla, M. E. (2002). Aprendizaje colaborativo y tecnologías de la información y la comunicación. *Revista Iberoamericana de Educación*, 29(1), 1–10. <https://doi.org/10.35362/RIE2912868>
- Cañal, P. (1991). Las concepciones de los alumnos y alumnas sobre la nutrición de las plantas verdes. *Investigación En La Escuela*, 13, 97–113.
- Cañal, P. (1999). Photosynthesis and 'inverse respiration' in plants: an inevitable misconception? *International Journal of Science Education*, 21(4), 363–371.
- Carmen, L. M. del. (1990). La elaboración de proyectos curriculares de centro en el marco de un currículo de ciencias abierto. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 8(1), 37–45. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/51290>
- Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (Parte D). Análisis sobre las causas que las originan y/o mantienen. *Revista Eureka Sobre*

*Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 2(2), 183–208.  
[https://doi.org/http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2005.v2.i2.06](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2005.v2.i2.06)

Carrascosa, J., Gil, D., & Valdés, P. (2004). El problema de las concepciones alternativas, hoy. *Didáctica de Las Ciencias Experimentales y Sociales*, 18, 41–63.

Carretero, M., & León, J. A. (1999). Del pensamiento formal al cambio conceptual en la adolescencia. In J. Palacios, A. Marchesi, & C. Coll (Eds.), *Desarrollo psicológico y educación. 1. Psicología evolutiva*. (2ª, pp. 453–469). Madrid: Alianza Editorial.

Casas-García, Luis M., & Luengo-González, R. (2012). The study of the pupil's cognitive structure: The concept of angle. *European Journal of Psychology of Education*, 28(2), 373–398. <https://doi.org/10.1007/S10212-012-0119-4>

Casas-García, Luis M, Luengo-González, R., & Godinho-Lopes, V. (2011). Software GOLUCA: Knowledge Representation in Mental Calculation. *US-China Education Review*, 4, 592–600. [https://archive.org/details/ERIC\\_ED526825](https://archive.org/details/ERIC_ED526825)

Casas-García, Luis Manuel. (2002). *El estudio de la estructura cognitiva de alumnos a través de Redes Asociativas Pathfinder. Aplicaciones y posibilidades en Geometría*. [Tesis Doctoral, Universidad de Extremadura].

Casas-García, Luis Manuel, & Luengo-González, R. (2001). “ *Aportaciones a la investigación sobre la estructura cognitiva de los alumnos a través de Redes Pathfinder . Un estudio exploratorio en Geometría .*” [Trabajo de Maestría, Universidad de Extremadura]

Casas-García, Luis Manuel, & Luengo-González, R. (2004). Representación del conocimiento y aprendizaje : Teoría de los Conceptos Nucleares. *Revista Española de Pedagogía*, 62(227), 59–84. <https://www.researchgate.net/publication/39208805>

Casas García, L. M., Luengo González, R., Canchado Boza, M., & Torres Carvalho, J. L. (2013). Una experiencia de representación del conocimiento en Educación Infantil mediante el uso de Redes Asociativas Pathfinder. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 36, 1–17.

Catarreira, S. M. V., Lopes, V. G., García, L. M. C., & González, R. L. (2017). Evaluation

of changes in cognitive structures after the learning process in mathematics. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 25(2), 17–33.

Cerezo García, M. (2009). *Fundamentos de biología básica*. Universitat Jaume I. [www.tenda.uji.es/pls/www/!GCPPA00.GCPPR0002?lg=ES&id\\_art=1622](http://www.tenda.uji.es/pls/www/!GCPPA00.GCPPR0002?lg=ES&id_art=1622)

Charrier Melillán, M., Cañal, P., & Rodrigo Vega, M. (2006). Las concepciones de los estudiantes sobre la fotosíntesis y la respiración : una revisión sobre la investigación didáctica en el campo de la enseñanza y el aprendizaje de la nutrición de las plantas. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 24(3), 401–410.

Charrier Melillán, M., González, A., Cabero, V., Martínez, M., & De Marco, S. (2015). El conocimiento didáctico de la fotosíntesis de un grupo de docentes universitarios IV Jornadas de Enseñanza e Investigación. *Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa En El Campo de Las Ciencias Exactas y Naturales*, 1, 11. <http://jornadasceyn.fahce.unlp.edu.ar/convocatoria>

Chen, H., & Ni, J. H. (2013). Teaching arrangements of carbohydrate metabolism in biochemistry curriculum in peking university health science center. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 41(3), 139–144. <https://doi.org/10.1002/BMB.20695>

Coll, C., & Solé, I. (2007). Los profesores y la concepción constructivista. In C. Coll, E. Martín, T. Mauri, M. Miras, J. Onrubia, I. Solé, & A. Zabala (Eds.), *El constructivismo en el aula* (pp. 7–23). Graó.

Contreras Vas, J. Á., Arias Masa, J., Luengo González, R., & Casas García, L. M. (2016). Método complementario de obtención de los Conceptos Nucleares para la Teoría de los Conceptos Nucleares: El Índice de Nuclearidad. *IE Comunicaciones: Revista Iberoamericana de Informática Educativa*, ISSN-e 1699-4574, N°. 23 (Enero-Junio), 2016, 23, 4. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5524780&info=resumen&idioma=SPA>

Cook, K., Buck, G., & Park Rogers, M. (2012). Preparing Biology Teachers to Teach

- Evolution in a Project-Based Approach. *Science Educator*, 21(2), 18–30.
- Cossette, R., McClish, S., & Ostiguy, K. (2004). *L'avenir prometteur de l'apprentissage par problèmes en soins infirmiers* (p. 8). CÉGEP DU VIEUX: Montréal.
- Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270(1–4), 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2007.05.006>
- Craig, R., Mehrens, W., & Clarizio, H. (1979). *Psicología Educativa Contemporánea*. México: Limusa. 152-156.
- Cubero-Juárez, J., Sánchez-Herrera, S., Vallejo, J. R., Luengo, L., Calderón, M., Luisa Bermejo-García, M., & Cubero Juárez, J. (2018). Aprendizaje cooperativo para la formación universitaria en alfabetización en salud. *FEM: Revista de La Fundación Educación Médica*, 21(2), 97–100. [www.fundacioneducacionmedica.org](http://www.fundacioneducacionmedica.org)
- Cubero, J., Carvalho, J. L., Casas, L. M., & Luengo, R. (2018). Actualidad en investigación mediante análisis cualitativo y mixto. *Campo Abierto. Revista de Educación*, 37(1), 1–4. <https://mascvuex.unex.es/revistas/index.php/campoabierto/article/view/3270/2191>
- Curtis, H. ., Barnes, N. S. ., Schnek, A., & Massarini, A. (2008). *Biología* (7.<sup>a</sup> ed.). Médica Panamericana.
- de Espíndola, M. B., El-Bacha, T., Giannella, T. R., Struchiner, M., da Silva, W. S., & Da Poian, A. T. (2010). Teaching energy metabolism using scientific articles. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 38(2), 97–103. <https://doi.org/10.1002/bmb.20386>
- de Micheli, A. (2014). El conocimiento de la respiración animal como un fenómeno de combustión. *Archivos de Cardiología de México*, 84(3), 224–228. <https://doi.org/10.1016/J.ACMX.2013.10.011>
- Decreto 98/2016, de 5 de julio, por el que se establecen la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato para la Comunidad Autónoma de Extremadura, Diario Oficial de Extremadura 17347 (2016). <http://doe.gobex.es/pdfs/doe/2016/1290o/16040111.pdf>

Decreto 109/2022, de 22 de agosto, por el que se establecen la ordenación y el currículo del Bachillerato para la Comunidad Autónoma de Extremadura., Diario Oficial de Extremadura (2022).

<http://doe.juntaex.es/otrosFormatos/html.php?xml=2022040164&anio=2022&doe=16400>

Díaz, R., López, R., García, A., Abuín, G., Nogueira, E., & Gandoy, J. (1996). “¿Son los alumnos capaces de atribuir a los microorganismos algunas transformaciones de los alimentos?” Publicaciones Universidad de Valencia / Universidad de Barcelona. *Enseñanza de Las Ciencias*, 14(2), 143–153.

Diver, S. (2000). Aquaponics-Integration of Hydroponic with Aquaculture. Horticulture Systems Guide. In *National Center for Appropriate Technology* (p. 18). Appropriate Technology Transfer for Rural Areas, USA. [www.attra.ncat.org](http://www.attra.ncat.org)

Domingos-Grilo, P., Mellado, V., & Ruiz, C. (2004). Evolución de las ideas alternativas de un grupo de alumnos portugueses de secundaria sobre fotosíntesis y respiración celular. *Revista de Educación En Biología*, 7(1), 10–20. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaadbia/article/view/36623>

Donaire de la Torre, C. (2015). *Enfermedades Mitocondriales: una forma aplicada de enseñar genética*. [Trabajo final de Máster, Universidad de Jaén].

Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1992). *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*. Madrid: Morata.

Driver, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 6(2), 109–120. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/51075>

Duda, H. J., E Wahyuni, F. R., Setyawan Program Studi Pendidikan Biologi, A. E., Persada Khatulistiwa, S., Barat, K., & Pertamina-Sengkuang, J. (2019). Misconception of the biology education students on the concepts of fermentation. *International Conference on Mathematics and Science Education*, 1521, 42006. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/4/042006>

Duran, D., & Monereo, C. (2012). *Entramado. Métodos de aprendizaje cooperativo y colaborativo* (Edición: C). Barcelona, Horsori.

- Edwards, M., Gil, D., Vilches, A., & Praia, J. (2004). La atención a la situación del mundo en la educación científica. *Enseñanza de Las Ciencias*, 22(1), 47–64.
- Espinosa-Ríos, E. A., González-López, K. D., & Hernández-Ramírez, L. T. (2016). Las prácticas de laboratorio. *Entramado*, 12(1), 266–281.  
<https://doi.org/10.18041/ENTRAMADO.2016V12N1.23125>
- Esteve, P., & Jaén, M. (2013). El papel de los ciclos biogeoquímicos en el estudio de los problemas ambientales en Educación Secundaria. *Investigación En La Escuela*, 77–88. <https://idus.us.es/handle/11441/60071>
- Eugenio Gozalbo, M., Zuazagoitia Baltar, D., & Ruiz-González, A. (2018). Huertos EcoDidácticos y Educación para la Sostenibilidad. Experiencias educativas para el desarrollo de competencias del profesorado en formación inicial. *Revista Eureka*, 15(1), 1501.  
[https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2018.v15.i1.1501](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i1.1501)
- Farina, J. (2013). Conceptos previos sobre respiración y función biológica del oxígeno en estudiantes ingresantes a la carrera de Psicología Previous Knowledge on Breathing and Biological Function of Oxygen on First-year College Students of Psychology Course at the Universi. *Revista de Educación En Biología*, 16, 31–40.
- Fernández Hernández, J. M. (2002). Algunas consideraciones para la utilización de las ideas previas en la enseñanza de las ciencias morfológicas veterinarias. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 1(3), 141–152.
- Fernandez, N. E. (2013). Los Trabajos Prácticos de Laboratorio por investigación en la enseñanza de la Biología. *Revista de Educación En Biología*, 16(2), 15–30.  
<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaadbia/article/view/22395/22013>
- Fernández Trespalcios, J. L. (1997). *Iniciación a la Psicología*. (1ª reimpresión). Sanz y Torres S.L.
- Ferreiro, G., & Occelli, M. (2008). Análisis del abordaje de la respiración celular en textos escolares para el Ciclo Básico Unificado. *REEC: Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 7(2), 7.
- Finger, J. de A. F. F., de Menezes, J. B. F., de Melo Franco, B. D. G., Landgraf, M.,



- Raspor, P., & Pinto, U. M. (2019). Challenges of teaching food microbiology in Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 51(1), 279–288. <https://doi.org/10.1007/S42770-019-00107-0>
- Font, A. (2004). Líneas maestras del aprendizaje por problemas. *Revista Interuniversitaria de Formación de Profesorado*, 18(001), 79–95. [https://www.researchgate.net/publication/39216811\\_Lineas\\_maestras\\_del\\_aprendizaje\\_por\\_problemas](https://www.researchgate.net/publication/39216811_Lineas_maestras_del_aprendizaje_por_problemas)
- Fortea, M. A. (2019). *Metodologías didácticas para la enseñanza/aprendizaje de competencias*. Materiales para la docencia universitaria de la Universitat Jaume I, n<sup>a</sup> 1. <https://doi.org/10.6035/MDU1>
- Freire, P. (1997). *Pedagogía de la Autonomía*. México DF: Siglo XXI.
- Gagliardi, R. (1985). Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigación |. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 4(1), 30–35. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/50857>
- Gagné, R. M. (1995). Learning process and instruction. *Training Research Journal*, 1, 17–28.
- Gáinza, F. (1982). *Casi puro rezo*. Asociación Educacionista Argentina Editorial Stella. <https://isbn.cloud/9789505250004/casi-puro-rezo/>
- García-Ponce, Á. L., Martínez-Poveda, B., Blanco-López, Á., Quesada, A. R., Suárez, F., Alonso-Carrión, F. J., & Medina, M. Á. (2021). A problem-/case-based learning approach as an useful tool for studying glycogen metabolism and its regulation. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 49(2), 236–241. <https://doi.org/10.1002/BMB.21449>
- García-Ulloa, M., León, C., Hernández, F., & Chavéz, R. (2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponía • Evaluation of an experimental aquaponic system. *Avances En Investigación Agropecuaria*, 9(1), 1–5. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83709105>
- García Rovira, M. P. (2005). Los Modelos Como Organizadores Del Currículo En Biología. *Enseñanza de Las Ciencias, Número Ext(1988)*, 1–6.



- Gardner, H. (1987). *La nueva ciencia de la mente : historia de la revolución cognitiva*. Paidós.
- Garnica, S. E., & Roa, R. (2012). Conocimiento didáctico del contenido sobre fotosíntesis de dos profesores de los grados sexto y noveno de educación básica secundaria de un colegio privado en Bogotá-Colombia. *Bio-Grafía. Escritos Sobre La Biología y Su Enseñanza*, 5(8), 50–76. <https://doi.org/10.17227/20271034>
- Garófalo, Sofía J, Galagovsky, L. R., & Alonso, M. (2014). Dificultades en el aprendizaje del metabolismo de los carbohidratos. Un estudio transversal. *Química Viva*, 13(1), 31–55.
- Garófalo, Sofía Judith. (2010). *Análisis de obstáculos en el aprendizaje de metabolismo de hidratos de carbono : Un estudio transversal* [Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales].  
[http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis\\_n4772\\_Garofalo](http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n4772_Garofalo)
- Garófalo, Sofía Judith, Alonso, M., & Galagovsky, L. (2014). Nueva propuesta teórica sobre obstáculos epistemológicos de aprendizaje. El caso del metabolismo de los carbohidratos. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 32(3), 155–171. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1042>
- Garza, A. (1967). *Manual de técnicas de investigación para estudiantes de Ciencias Sociales*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Genello, L., Fry, J. P., Frederick, J. A., Li, X., & Love, D. C. (2015). Fish in the Classroom: A Survey of the Use of Aquaponics in Education. *European Journal of Health & Biology Education*, 4(2), 9–20. <https://doi.org/10.12973/ejhbe.2015.213p>
- Gil-Galván, R. (2018). El uso del aprendizaje basado en problemas en la enseñanza universitaria. Análisis de las competencias adquiridas y su impacto. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 23(76), 73–93.  
<http://www.scielo.org.mx/pdf/rmie/v23n76/1405-6666-rmie-23-76-73.pdf>
- Gil, D., & Carrascosa, J. (1985). Science Learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3), 231–236.  
<https://doi.org/10.1080/0140528850070302>

- Gil Pérez, D. (1986). La metodología científica y la enseñanza de las ciencias : unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 4(2), 111–120.  
<https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/50876>
- Giordan, A. (1987). Los conceptos de biología adquiridos en el proceso de aprendizaje |. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 5(2), 105–110. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/50958>
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Dos-Santos, M. (2019). Aquaponics and Global Food Challenges. In S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future* (pp. 3–17). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_1)
- Gómez, D., & Velazco, D. (2015). Ideas previas sobre el reino vegetal en niños entre los 7 y 10 años de tercero de primaria de la Escuela Normal Superior Distrital María Montessori (E.N.S.D.M.M.). *Bio-Grafía. Escritos Sobre La Biología y Su Enseñanza.*, 0(0), 1460–1470. <https://doi.org/10.17227/20271034>
- Gómez García, J. A., & Insausti Tuñón, M. J. (2005). Un modelo para la enseñanza de las ciencias: análisis de datos y resultados Title: A teaching-learning model of sciences: analysis of data and results. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 4(3), 20.
- González Rodríguez, C., Martínez Losada, C., & García Barros, S. (2009). Problemática de la Nutrición Vegetal en la educación obligatoria. Una propuesta de secuencia. *Revista de Educación En Biología*, 12(2), 36–43.  
<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaadbia/article/view/22252/21852>
- Grence, T., Castillo, A., Meléndez, I., & Madrid, M. A. (2015). *Biología y Geología 1º Bachillerato*. Santillana Educación, S.L.
- Güneş, M. H. (2011). Modelling about energy transformation in living organism. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 15, 1183–1187.  
<https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2011.03.260>
- Hanson, R. W. (2002). Metabolic minimaps of glycolysis and gluconeogenesis and their

- regulation, designed by Donald E. Nicholson. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 30(4), 221–223. <https://doi.org/10.1002/BMB.2002.494030040111>
- Harman, O. S., & Dietrich, M. R. (2018). *Dreamers, visionaries, and revolutionaries in the life sciences*. The University of Chicago Press.
- Harmon, T. (2003). NFT aquaponic systems: a closer look. *Aquaponics Journal*, 31(Cuarto trimestre), 8–11.
- Hart, E. R., Webb, J. B., & Danylchuk, A. J. (2013). Implementation of aquaponics in education: An assessment of challenges and solutions. *Science Education International*, 24(4), 460–480.
- Hartley, L. M., Wilke, B. J., Schramm, J. W., D’Avanzo, C., & Anderson, C. W. (2011). College Students’ Understanding of the Carbon Cycle: Contrasting Principle-based and Informal Reasoning. *BioScience*, 61(1), 65–75. <https://doi.org/10.1525/BIO.2011.61.1.12>
- Heitger, M. H., Ronsse, R., Dhollander, T., Dupont, P., Caeyenberghs, K., & Swinnen, S. P. (2012). Motor learning-induced changes in functional brain connectivity as revealed by means of graph-theoretical network analysis. *NeuroImage*, 61, 633–650. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.03.067>
- Hewson, P. W. (1993). Constructivism and reflective practice in science teacher education. (eds.). In L. Montero & J. M. Vez (Eds.), *Las didácticas específicas en la formación del profesorado (I)* (pp. 259–275). Santiago: Tórculo.
- Hidalgo Izquierdo, V., Martín Espada, R., Ángel Contreras Vas, J., & Arias Masa, J. (2019). Obtención de los conceptos nucleares de un tema de ingeniería con el apoyo del software cualitativo WebQDA y las Redes Asociativas Pathfinder. In *CIAIQ2019* (Vol. 3). <https://www.proceedings.ciaiq.org/index.php/CIAIQ2019/article/view/2353>
- Ho Chan, K. K., West-Pratt, J., & Keung Ng, R. C. (2021). Using Yeast Fermentation as a Context for Meaningful Learning of Procedural Understanding. *The American Biology Teacher*, 83(1), 26–32. <https://doi.org/10.1525/ABT.2021.83.1.26>
- Hofstein, A., & Mamlok-Naaman, R. (2011). High-school students’ attitudes toward and

- interest in learning chemistry. *Educacion Quimica*, 22(2), 90–102.  
[https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(18\)30121-6](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(18)30121-6)
- Jiménez, A. (2013). Acuaponía: Herramienta educativa para el aprendizaje transversal de las ciencias. *Ciencia y Desarrollo*, 16(2), 83–90.  
<https://doi.org/10.21503/CienciayDesarrollo.2013.v16i2.07>
- Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Holubec, E. J. (1999). *El aprendizaje cooperativo en el aula*. Paidós.
- Johnson, R. B., & Onwuegbuzie, A. J. (2004). Mixed Methods Research: A Research Paradigm Whose Time Has Come. *Educational Researcher*, 33(7), 14–26.  
<https://doi.org/10.3102/0013189X033007014>
- Jones, L. (2007). *The Student-Centered Classroom* (Cambridge University Press (ed.)).  
[www.cambridge.org](http://www.cambridge.org)
- Jones, S. (2002). Evolution of Aquaponics. *Aquaponics Journal*, VI(1), 14–17.
- Kamada, T., & Kawai, S. (1989). An algorithm for drawing general undirected graphs. *Information Processing Letters*, 31(1), 7–15.
- Karp, G. (2014). *Biología celular y molecular: Conceptos y experimentos* (7a ed.). McGraw-Hill.
- Köse, S. (2008). Diagnosing Student Misconceptions: Using Drawings as a Research Method. *World Applied Sciences Journal*, 3(2), 283–293.
- Larmer, J., & Mergendoller, J. (2011). The Main Course, Not Dessert: How Are Students Reaching 21st Century Goals? With 21st Century Project Based Learning. *Buck Institute for Education*, 1–4.  
<http://files.ascd.org/pdfs/onlinelearning/webinars/webinar-handout1-10-8-2012.pdf%0Ahttp://www.occgate.org>
- Larmer, J., Mergendoller, J., & Boss, S. (2015). *Setting the Standard for Project-Based Learning: A Proved Approach to Rigorous Classroom Interaction*. ASCD, Alexandria.
- Lehner, M. W. (2008). One fish, two fish: Growing lunch with aquaponics.: *Edible*

*Nutmeg Magazine, Summer, 24–25.*

- Lehninger, A. L., Nelson, D., & Cox, M. (2009). *Lehninger Principios de bioquímica*. In *São Paulo* (5a. ed.). Omega,.
- Leiva, C. (2005). Conductismo, cognitivismo y aprendizaje. *Tecnología En Marcha*, 18(1), 66–73. [https://181.193.125.13/index.php/tec\\_marcha/article/view/442/370](https://181.193.125.13/index.php/tec_marcha/article/view/442/370)
- Long, S., Andreopoulos, S., Patterson, S., Jenkinson, J., & Ng, D. P. (2021). Metabolism in Motion: Engaging Biochemistry Students with Animation ■ ANIMATION WORKFLOW Content and Script Writing. *Journal of Chemical Education*, 98, 1795–1800. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01498>
- López García, M., Merino Redondo, M., Alfonso Cervel, Fernando Martín Sánchez, Santos Mora Peña, A., & Trinidad Núñez, A. M. (2015). *Inicia Dual - Biología y Geología 1º Bachillerato*. Oxford University Press España S.A.
- López, N., Alfageme, V., Gil, M., Somoza, J. J., Vitoria, V. M., & Fernández-Portal, Javier Rico, O. (2008). *Biología y Geología 1º Bachillerato* (1ª ED.). Editex.
- López Rúa, A. M., & Tamayo Alzate, E. Ó. (2012). Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 8(1), 145–166.
- Love, D. C., Fry, J. P., Li, X., Hill, E. S., Genello, L., Semmens, K., & Thompson, R. E. (2015). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*, 435, 67–74. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2014.09.023>
- Lucero, M. M. (2003). Entre el trabajo colaborativo y el aprendizaje colaborativo. *Revista Iberoamericana de Educación*, 33(1), 1–21. <https://doi.org/10.35362/RIE3312923>
- Luengo, R. (2013). La Teoría De Los Conceptos Nucleares Y Su Aplicación En La Investigación En Didáctica De Las Matemáticas. *UNIÓN: Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, junio(34), 9–37.
- Lune, H., & Berg, B. L. (2017). *Qualitative Research Methods for the Social Sciences* (Ninth Edit). Pearson Education Limited.

- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Bender, K. S., Buckley, D. H., & Stahl, D. A. (2015). *Brock. Biología de los microorganismos*. (14 Ed.). Pearson Educación S.A.
- Magnarelli, G., Quintana, M. M., García, L., Villagrán De Rosso, E., Cabrera, L., & Ruiz-Moreno, L. (2009). El trabajo en pequeños grupos facilita la enseñanza-aprendizaje de Bioquímica. *Revista Brasileira de Educação Médica*, 33(3), 374–381. <https://doi.org/10.1590/S0100-55022009000300008>
- Mahncke Torres, M. (2010). *Enfoques de aprendizaje y de estudio de los estudiantes universitarios*. [ Tesis Doctoral, Universidad Ramon Llul.] <http://hdl.handle.net/10803/9274>
- Margolis, H. (1993). *Paradigms & barriers : how habits of mind govern scientific beliefs*. University of Chicago Press.
- Marmaroti, P., & Galanopoulou, D. (2006). Pupils' Understanding of Photosynthesis: A questionnaire for the simultaneous assessment of all aspects. *International Journal of Science Education*, 28(4), 383–403. <https://doi.org/10.1080/09500690500277805>
- Martínez Parra, C., García, B., Gallegos-Cázares, L., & López Eslava, S. (2014). Transformación de las ideas sobre catabolismo de estudiantes de Bachillerato, después de participar en la aplicación de una secuencia didáctica diseñada para el proyecto Laboratorios de Ciencias del Bachillerato UNAM. *Revista de Educación En Biología*, 17(1), 25–37.
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Van Os, E., Anseeuw, D., Van Havermaet, R., & Junge, R. (2019). Hydroponic Technologies. In S. Godek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems* (pp. 77–110). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_4)
- McGrath, D. (2002). Teaching on the front lines: using the Internet and problem-based learning to enhance classroom teaching. *Holistic Nursing Practice*, 16(2), 5–13. <https://doi.org/10.1097/00004650-200201000-00004>
- Mcmurtry, M. R., & Sanders, D. (1988). Fish increase greenhouse profits. *American Vegetable Grower*, 30–33.
- McMurtry, M. R., Sanders, D. C., Patterson, R. P., & Nash, A. (1993). Yield of Tomato

Irrigated with Recirculating Aquacultural Water. *Journal of Production Agriculture*, 6(3), 428–432. <https://doi.org/10.2134/JPA1993.0428>

McMurtry, M. R., Sanders, D., Cure, J. D., Hodson, R. G., Haninc, B. C., & Amand, P. C. ST. (1997). Efficiency of Water Use of an Integrated FisVegetable Co-Culture System. *Journal Of The World Aquaculture Society*, 28(4), 420–428.

Miras, M. (1993). Un punto de partida para el aprendizaje de nuevos contenidos: Los conocimientos previos. In C. Coll, E. Martin, T. Mauri, M. Miras, J. Onrubia, I. Solé, & A. Zabala (Eds.), *El constructivismo en el aula*. Barcelona: Graó.

Monguí Ávila, C. C. (2014). *Diseño de una herramienta para la enseñanza-aprendizaje de la respiración celular* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <http://www.bdigital.unal.edu.co/46373/>

Montaña de Montserrat, B. (1554). *Libro de la Anothomia del hōbre*. [https://books.google.es/books?id=FMRjAAAACAAJ&pg=PP199&dq=fermentación&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi7ndz00J\\_1AhWNz4UKHflGAMwQ6AF6BAgCEAI#v=onepage&q=fermentación&f=false](https://books.google.es/books?id=FMRjAAAACAAJ&pg=PP199&dq=fermentaci%C3%B3n&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi7ndz00J_1AhWNz4UKHflGAMwQ6AF6BAgCEAI#v=onepage&q=fermentaci%C3%B3n&f=false)

Morales-Mann, E. T., & Kaitell, C. A. (2001). Problem-based learning in a new Canadian curriculum. *Journal of Advanced Nursing*, 33(1), 13–19. <https://doi.org/10.1046/J.1365-2648.2001.01633.X>

Moreno-Arcuri, G., & Lopez-Mota, A. (2013). Construcción de Modelos en clase acerca del fenómeno de la Fermentación, con alumnos de Educación Secundaria. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 9(1), 53–78.

Muñoz-Campos, V., Franco-Mariscal, A. J., & Blanco-López, Á. (2020). ‘Integration of scientific practices into daily living contexts: a framework for the design of teaching-learning sequences.’ *International Journal of Science Education*, 42(15), 2574–2600. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1821932>

Muñoz Muñoz, A., & Díaz Perea, M. del R. (2009). Metodología por proyectos en el área de conocimiento del medio. *Revista Docencia e Investigación*, 19, 101–126.

Muñoz Saa, L. (2016). *Sistema acuopónico para trabajar los ecosistemas a nivel meso en educación infantil* [Trabajo Fin de Máster, Universidad de Almería].



[http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/6082/11393\\_TFM esquema DEFINITIVO \(1\).pdf?sequence=1](http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/6082/11393_TFM_esquema_DEFINITIVO(1).pdf?sequence=1)

Neira Morales, J. C., Miño Gonzalez, L. P., & Fuentealba Cruz, M. I. (2021). Aproximación a las dificultades para la ejecución de trabajos prácticos de laboratorio de biología en educación media. *Convergencia Educativa*, 10-extra, 24–33. <https://doi.org/10.29035/RCE.S10.24>

Nelson, N., & Yocum, C. F. (2006). Structure and function of photosystems I and II. *Annual Review of Plant Biology*, 57(1), 521–565. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.ARPLANT.57.032905.105350>

Nelson, R. L. (2007). 10 great examples of aquaponics in education. *Aquaponics Journal*, 46(3), 18–21. [www.islandschool.org/aquaponics.html](http://www.islandschool.org/aquaponics.html)

OCDE. (2010). *La comprensión del cerebro: El nacimiento de una ciencia del aprendizaje*. Ediciones UCSH.

Oliva, L. (2017). *La acuaponia como recurso didáctico transversal*. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/bitstream/handle/11185/1953/7.2.5.pdf>

Onetti Onetti, V. (2011). Aprendizaje cooperativo. *Revista de Digital Innovación y Experiencias Educativas*, 40, 1–8. [https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Nu\\_mero\\_40/VANESSA ONETTI ONETTI\\_1.pdf](https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Nu_mero_40/VANESSA ONETTI ONETTI_1.pdf)

Özay, E., & Öztas, H. (2003). Secondary students' interpretations of photosynthesis and plant nutrition. *Journal of Biological Education*, 37(2), 68–70. <https://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655853>

Palacios, L. A. R., Casas, L. M., & Carvalho, J. L. T. (2019). Análisis de Contingencias y Redes Asociativas Pathfinder: herramientas para un estudio cualitativo de las dificultades en la enseñanza del Álgebra. *Indagatio Didactica*, 11(3), 197–217.

Panadero Cuartero, J. E., Lozano Montero, A., Olazábal Flórez, A., Argüello González, J. Á., Argüello Miguélez, H., & Fuente Flórez, M. R. (2015). *1º Bachillerato Biología Y Geología*. Bruño-Grupo Anaya Educacion.

Paniagua, A., & Meneses Villagrá, J. A. (2006). Teoría Reformulada de la Asimilación



- (TRA): análisis, interpretación, coincidencias y diferencias con la Teoría de la Asimilación de Ausubel. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 5(1), 161–183.
- Panijpan, B., Ruenwongsa, P., & Sriwattanarothai, N. (2008). Problems Encountered In Teaching/Learning Integrated Photosynthesis: A Case of Ineffective Pedagogical Practice? *Bioscience Education*, 12(1), 1–7. <https://doi.org/10.3108/beej.12.3>
- Parés i Farràs, R., & Juárez Giménez, A. (2008). *Bioquímica de los microorganismos*. Reverté S.A.
- Parés i Farràs, R., & Juárez Giménez, A. (2021). *Bioquímica de los microorganismos*. Reverté, S.A.
- Pedrinaci, E., Gil, C., & Pascual, J. A. (2015). *Biología y Geología 1º Bachillerato*. SM.
- Pereira Garcês, B., de Oliveira Santos, K., & de Oliveira, C. A. (2018). Aprendizagem baseada em projetos no ensino de bioquímica metabólica. *Revista Ibero-Americana de Estudos Em Educação*, 13(1), 527–534. <https://doi.org/10.21723/riaee.nesp1.v13.2018.11448>
- Pereira, V. C., & Ferreira Campos, W. (2021). Interactive Metabolism, a simple and robust active learning tool that improves the biochemistry knowledge of undergraduate students. *Advances in Physiology Education*, 45, 353–364. <https://doi.org/10.1152/advan.00042.2020>
- Pérez, A. L., Suero, M. I., Montanero, M., & Montanero, F. M. (1998). *Mapas de experto tridimensionales Aplicaciones al diseño de secuencias instruccionales de Física, basadas en la teoría de la elaboración*. Extremadura: Consejería Educación Ciencia y Tecnología.
- Pérez Cañestro, J. (2001). *Aplicación de nitrosomas y nitrobacter en forma de biopelícula para la nitrificación biológica en reactores de lecho fijo* [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona]. <https://ddd.uab.cat/record/38479>
- Pérgola, M., & Galagovsky, L. (2020). Estudio didáctico-epistemológico sobre la relación entre los modelos de respiración celular y de combustión. *Revista de Educación En Biología*, 23(1), 49–63.

<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaadbia/article/view/28149>

- Piaget, J. (1970). L'evolution intellectuelle entre l'adolescence et l'âge adulte. *Milán: Rapport Sur Le III Congrès International FONEME Sur La Formation Humaine de l'adolescence à La Madurité.*
- Piedrahita, R. H. (2003). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226(1–4), 35–44. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00465-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00465-4)
- Plaza, C., Casamayor, C., Hernández, J., Martínez, J., Martínez-Aedo, J. J., & Medina, F. J. (2015). *Biología y Geología 1º Bachillerato*. Anaya Educación.
- Plaza Escribano, C., Medina Domínguez, F. J., Hernández Gómez, J., Martínez Casillas, J., Martínez-Aedo Ollero, J. J., & Casamayor Mármol, C. (2018). *Biología y Geología 1º Bachillerato*. Anaya Educación.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227.
- Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2005). Influencing brain networks: implications for education. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 9(3), 99–103. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.01.007>
- Pozo, J. I. (1996a). La psicología cognitiva y la educación científica. *Investigações Em Ensino de Ciências.*, 1(2), 110–131.
- Pozo, J. I. (1996b). Las ideas del alumnado sobre la ciencia: de dónde vienen, a dónde van ... y mientras tanto qué hacemos con ellas. *Revista Alambique*, 7, 18–26.
- Pozo, J. I., Puy Perez, M. Del, Sanz, A., & Limon, M. (1992). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia como teorías implícitas. *Infancia y Aprendizaje*, 15(57), 3–21. <https://doi.org/10.1080/02103702.1992.10822321>
- Pratt, C. W., & Cornely, K. (2014). *Essential biochemistry* (Third Edit). John Wiley & Sons, Inc.
- Rakocy, J. E., Bailey, D. S., Shultz, R. C., & Thoman, E. S. (2010). *Update on tilapia*

*and vegetable production in the UVI aquaponic system* (pp. 1–15). University of the Virgin Islands Agricultural Experiment Station.

[https://www.researchgate.net/publication/237308635\\_Update\\_on\\_tilapia\\_and\\_vegetable\\_production\\_in\\_the\\_UVI\\_aquaponic\\_system](https://www.researchgate.net/publication/237308635_Update_on_tilapia_and_vegetable_production_in_the_UVI_aquaponic_system)

Rakocy, J. E., Losordo, T. M., & Masser, M. P. (1992). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems Integrating Fish and Plant Culture. *Southern Regional Aquaculture Center Publication*, 454, 7.

Ramirez, D., Sabogal, D., Jiménez, P., & Hurtado, G. H. (2008). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Facultad de Ciencias Básicas*, 4(1), 32–51. <http://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/2230>

Ramos, L. A., Casas, L. M., & Torres, J. L. (2019). Análisis de Contingencias y Redes Asociativas Pathfinder: herramientas para un estudio cualitativo de las dificultades en la enseñanza del Álgebra. *Indagatio Didactica*, 11(3), 197–217. <https://proa.ua.pt/index.php/id/article/view/4957/3712>

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 169 (2015). <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/12/26/1105/con>

Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato, Pub. L. No. 82, de 06/04/2022, Boletín Oficial del Estado 1 (2022). <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/04/05/243/con>

Reigosa, M. A. (2003). El metabolismo celular como contenido básico en la enseñanza de la Biología. Un modelo didáctico para superar dificultades. |. *Revista de Educación En Biología*, 6(1), 48–52. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaadbia/article/view/36678>

Rey, M. J., Sierra, S., Blázquez, S., & Aguilera, R. (2017). *Biología y Geología 1º Bachillerato*. McGraw-Hill / Interamericana de España, S. A.

Rodas-Llanos, M., & Cubero-Juánez, J. (2022). El diseño del artículo de investigación como generador de vocaciones científicas. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación Del Profesorado*, 25(1), 61–77. <https://doi.org/10.6018/REIFOP.502731>

- Rodas Llanos, M. (2009). *Ideas alternativas de alumnos de grado medio de la familia profesional de Industrias alimentarias sobre el concepto de Higiene*. [Trabajo Fin de Máster, Universidad de Extremadura.]
- Rodríguez Palmero, M. L., Marrero Acosta, J., & Moreira, M. A. (2001). La teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird y sus principios: una aplicación con modelos mentales de célula en estudiantes del curso de orientación universitaria. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 6(3), 243–268.
- Rodríguez Palmero, M. Lu., & Marrero Acosta, J. (2003). Un análisis y una organización del contenido de biología celular. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 2(1), 67–79.
- Roldán, I., Ardila, L., González, R., & Carvalho, J. L. (2018). Uso de Redes Asociativas Pathfinder para el análisis de redes cognitivas de alumnos: el caso del Sistema Métrico Decimal. *Revista Lusófona de Educação*, 40(40), 27–50. <https://doi.org/10.24140>
- Román, F. (2021). La Neurociencia detrás del aprendizaje basado en problemas (ABP) Neurociencia detrás del ABP. *JONED. Journal of Neuroeducation*, 1(2), 50–56. <https://doi.org/10.1344/joned.v1i2>
- Román, M. (2005). *Aprender a aprender en la Sociedad del Conocimiento*. Santiago de Chile: Arrayán. <https://es.calameo.com/read/004414688861397c102db>
- Román, M., & Diez, E. (1990). *Currículum y Aprendizaje. Un modelo de Diseño Curricular de aula en el marco de la Reforma*. Madrid: Itaka.
- Rosas, R., & Sebastián, C. (2008). *Piaget, Vigotski Y Maturana. Constructivismo a tres voces* (Primera Ed). Aique. <http://twitter.com/psikolibro>
- Ruíz Martínez, A. (2017). Estrategia didáctica para el aprendizaje de los ciclos biogeoquímicos desde la transdisciplinariedad. *Praxis & Saber*, 8(16), 105. <https://doi.org/10.19053/22160159.v8.n16.2017.6180>
- Russell, C. B., & Weaver, G. C. (2011). A comparative study of traditional, inquiry-based, and research-based laboratory curricula: Impacts on understanding of the nature of science. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(1), 57–67.

<https://doi.org/10.1039/C1RP90008K>

Sáenz Guarín, J. E. (2012). *La fotosíntesis, concepciones, ideas alternativas y analogías. Unidad didáctica dirigida a estudiantes de los ciclos 3 y 4 de educación básica del colegio José María Carbonell* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. [https://nanopdf.com/download/la-fotosintesis-concepciones-ideas-alternativas-y-analogias\\_pdf](https://nanopdf.com/download/la-fotosintesis-concepciones-ideas-alternativas-y-analogias_pdf)

Salinas Hernández, I. S. (2020). ¿Cómo sobrevivir a la enseñanza del metabolismo celular en bachillerato? *Revista Digital Universitaria*, 21(2), 11. <https://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2020.v21n2.a8>

Sanmartí, N., & Márquez, C. (2017). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 1(1), 3–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2020>

Scaglione, M., Cadoche, L., Cerutti, R., García, M., & Boscarol, B. M. (2019). La acuaponía como estrategia didáctica para la integración de conocimientos. *El Cardo*, 21(15), 53–73. <http://200.61.250.144/index.php/cardo/article/view/126>

Schneller, A. J., Schofield, C. A., Frank, J., Hollister, E., & Mamuszka, L. (2015). A Case Study of Indoor Garden-Based Learning With Hydroponics and Aquaponics: Evaluating Pro-Environmental Knowledge, Perception, and Behavior Change. *Applied Environmental Education & Communication*, 14, 256–265. <https://doi.org/10.1080/1533015X.2015.1109487>

Schultz, E. (2005). A guided discovery approach for learning metabolic pathways. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 33(1), 1–7. <https://doi.org/10.1002/BMB.2005.494033010433>

Schvaneveldt, R. (1989). *Pathfinder Associative Networks. Studies in Knowledge Organization*. Norwood: Ablex.

Shana, Z., & Abulibdeh, E. S. (2020). Science practical work and its impact on students' science achievement. *Journal of Technology and Science Education*, 10(2), 199–215. <https://doi.org/10.3926/JOTSE.888>

Shavelson, R. J. (1972). Some aspects of the correspondence between content structure

- and cognitive structure in physics instruction. *Journal of Educational Psychology*, 63(3), 225–234. <https://doi.org/10.1037/H0032652>
- Silva, R. (2014). El cognitivismo y la negación de la mente: influencia del dualismo cartesiano - Dialnet. *Panorama*, 8(14), 47–58.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4799370>
- Slavin, R. E. (2011). Instruction Based on Cooperative Learning. In R. Mayer & P. Alexander (Eds.), *Handbook of Research on Learning and Instruction* (pp. 344–360). Taylor & Francis.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. In FAO (Ed.), *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* (Vol. 589). <https://doi.org/10.1242/jeb.208595>
- Songer, C. J., & Mintzes, J. J. (1994). Understanding cellular respiration: An analysis of conceptual change in college biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(6), 621–637. <https://doi.org/10.1002/TEA.3660310605>
- Soto-Ardila, L. M., Luengo-González, R., Roldán, I. M., & Torres Carvalho, J. L. (2017). Evolución de las redes cognitivas en el aprendizaje del Sistema Métrico Decimal utilizando Redes Asociativas Pathfinder. *6º Congreso Ibero-Americano En Investigación Cualitativa - CIAIQ17At: Salamanca, 1*(August 2020), 36–45.
- Soto Ardila, L. M. (2021). *El videojuego como metodología para la enseñanza de las matemáticas en Educación Primaria. Variación de las estructuras cognitivas*. [Tesis Doctoral, UEX].
- Souza-Júnior, A., Souza-Júnior, A. A., Silva, A. P., Silva, T. A., & Andrade, G. P. V. (2015). A proposal of collaborative education for biochemistry and cell biology teaching. *Revista de Ensino de Bioquímica*, 13(0), 30. <https://doi.org/10.16923/reb.v13i2.598>
- Souza, F. N., Costa, A. P., & Moreira, A. (2011). Análise de Dados Qualitativos Suportada pelo Software WebQDA. *VII Conferência Internacional de TIC Na Educação: Perspetivas de Inovação*, 9.

- Stanier, R. Y., Ingraham, J. L., Wheelis, M. L., & Painter, P. R. (1992). *Microbiología* (2ª Edición). Reverté.
- Tacon, A. G. J., & Forster, I. P. (2003). Aquafeeds and the environment: policy implications. *Aquaculture*, 226, 181–189. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00476-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00476-9)
- Tapia, L. I., Palomino, M. A., Lucero, Y., & Valenzuela, R. (2019). Pregunta, hipótesis y objetivos de una investigación clínica. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 30(1), 29–35. <https://doi.org/10.1016/J.RMCLC.2018.12.003>
- Teijón Rivera, J. M., & Garrido Pertiera, A. (2009). *Bioquímica Metabólica; conceptos y Test* (2ª ed.). Editorial Tébar.
- Thagard, P. (2020). Cognitive Science. In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter2020 ed.). Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/win2020/entries/cognitive-science/>
- Timmons, M. B., Guerdat, T., & Vinci, B. J. (2018). *Recirculating Aquaculture* (4th ed.). Ithaca Publishing Company LLC.
- Tolman, E. (1959). Conducitismo molar e intencional. In M. Marx (Ed.), *Psychological Theory: Contemporary Readings*. (pp. 410–428). Mcmillan.
- Torres Carvalho, J. L., Luengo González, R., Casas García, L. M., & Mendoza García, M. (2012). Estudio de la Estructura Cognitiva: Mapas Conceptuales Versus Redes Asociativas Pathfinder. *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology. Proc. of the Fifth Int. Conference on Concept Mapping*, 1, 204–211. <http://eprint.ihmc.us/238/>
- Torres, M. D., Mingo, B., Olazábal, M., & Santos, A. (2016). *Biología y Geología 1º Bachillerato*. Editorial Vicens Vives, S.A.
- Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2011). *Principios de anatomía y fisiología* (13va Edici). Editorial Médica Panamericana.
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2007). *Introducción a la microbiología* (9ª). Médica Panamericana.



- Uhl, J. D., Sripathi, K. N., Meir, E., Merrill, J., Urban-Lurain, M., & Haudek, K. C. (2021). Automated Writing Assessments Measure Undergraduate Learning after Completion of a Computer-Based Cellular Respiration Tutorial. *CBE Life Sciences Education*, 20(3), 1–13. [https://doi.org/10.1187/CBE.20-06-0122/SUPPL\\_FILE/COMBINEDSUPMATS.PDF](https://doi.org/10.1187/CBE.20-06-0122/SUPPL_FILE/COMBINEDSUPMATS.PDF)
- Vaishnavi, S. N., Vlassenko, A. G., Rundle, M. M., Snyder, A. Z., Mintun, M. A., & Raichle, M. E. (2010). Regional aerobic glycolysis in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(41), 17757–17762. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1010459107/-/DCSUPPLEMENTAL>
- van Mil, M. H. W., Boerwinkel, D. J., & Waarlo, A. J. (2013). Modelling Molecular Mechanisms: A Framework of Scientific Reasoning to Construct Molecular-Level Explanations for Cellular Behaviour. *Science and Education*, 22(1), 93–118. <https://doi.org/10.1007/S11191-011-9379-7/FIGURES/7>
- Vega, Y., Torres, N., & Pedreros, E. (2020). Concepciones de los estudiantes de un contexto rural sobre la fotosíntesis. *Praxis & Saber*, 11(27), 25. <https://doi.org/https://doi.org/10.19053/22160159.v11.n27.2020.11298>
- Vigotsky, L. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes* (M. Cole, V. Jhon-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman (eds.)). Harvard University Press.
- Von Eckardt, B. (1993). *What is cognitive science?* MIT Press.
- Vullo, D. L. (2014). El desafío de enseñar y aprender metabolismo en cursos de grado. *Química Viva*, 13(1), 18–30.
- Wardlow, G. W., Johnson, D. M., Mueller, C. L., Hilgenberg, E., Wardlow, G. W., Johnson, D. M., & Hilgenberg, C. E. (2002). Enhancing Student Interest in the Agricultural Sciences through Aquaponics. *J. Nat. Resour. Life Sci. Educ*, 31, 55–58. <http://www.jnrlse.org>
- Whitney, F. L. (1999). *Elementos de investigación* (Sexta edic). Omega.
- Wilson, C. D., Anderson, C. W., Heidemann, M., Merrill, J. E., Merritt, B. W., Richmond, G., Sibley, D. F., & Parker, J. M. (2006). Assessing students' ability to trace matter



in dynamic systems in cell biology. *CBE Life Sciences Education*, 5(4), 323–331.  
<https://doi.org/10.1187/CBE.06-02-0142/ASSET/IMAGES/LARGE/CBE0040600440005.JPEG>

Wilson, E. B. (1898). Cell lineage and ancestral reminiscence. In *Biological Resources from the Marine Biological Laboratories*. (pp. 21–42). Woods Hole: Ginn.

Yenilmez, A., & Tekkaya, C. (2006). Enhancing Students' Understanding of Photosynthesis and Respiration in Plant Through Conceptual Change Approach. *Journal of Science Education and Technology*, 15(1), 81–87.  
<https://doi.org/10.1007/S10956-006-0358-8>

Zaforas, G. (1991). Estudio llevado a cabo sobre representaciones de la respiración celular en los alumnos de Bachillerato y COU. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 9(2), 129–134.

Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Xie, H., Guimbaud, C., & Fang, Y. (2016). Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. *Bioresource Technology*, 210, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.12.079>



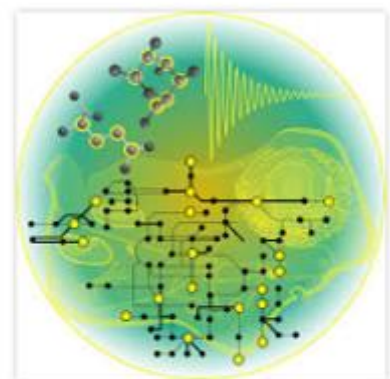
# ANEXOS

## 8.1 Ejemplo de clase



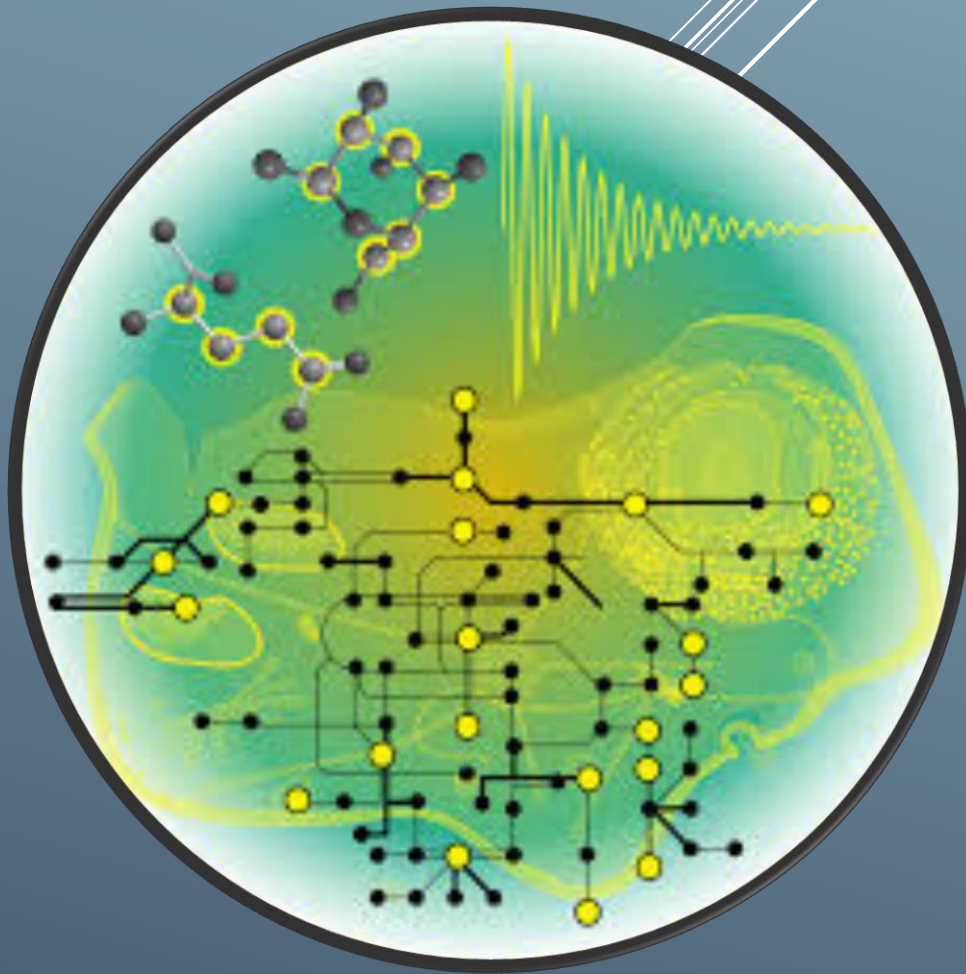
# UNIDAD DIDÁCTICA

Una aproximación al Metabolismo Celular



Metabolismo Celular  
Manuel Rodas Llanos  
Biología y Geología  
ISBN: SCB6908A86JD3

# La Obtención de la Energía por los Seres Vivos



Conocimientos básicos sobre el Catabolismo

## Contenido

La Obtención de Energía por los Seres Vivos .....	322
Clase 1. CITOSOL .....	323
INICIO CLASE 1 .....	323
OBJETIVO: .....	323
RESULTADOS ESPERADOS .....	324
TIEMPO: 10 minutos .....	324
DESARROLLO CLASE 1 .....	324
OBJETIVO .....	324
RESULTADOS ESPERADOS .....	324
TIEMPO .....	324
CIERRE CLASE 1 .....	329
OBJETIVO .....	329
RESULTADOS ESPERADOS .....	329
TIEMPO 10 minutos .....	329
CLASE 2. MITOCONDRIA .....	330
INICIO CLASE 2 .....	330
OBJETIVO: .....	330
RESULTADOS ESPERADOS .....	331
TIEMPO: 5 minutos .....	331
DESARROLLO CLASE 2 .....	331
OBJETIVO .....	331
RESULTADOS ESPERADOS .....	331
TIEMPO .....	331
CIERRE CLASE 2 .....	337
OBJETIVO .....	337

RESULTADOS ESPERADOS .....	337
TIEMPO 10 minutos .....	337
Análisis de las clases .....	338

# La Obtención de Energía por los Seres Vivos

## Unidad:

*La Obtención de Energía por los Seres Vivos*

## Propósito:

Conocer los procesos metabólicos más importantes en la obtención de energía por los seres vivos.

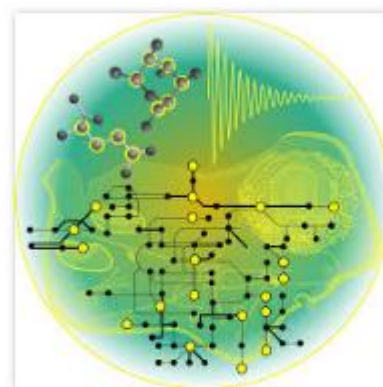
## Resultado de Aprendizaje:

1. Identifica los reactivos, las fases y la ecuación global de la respiración celular.
2. Establece las conexiones entre la glucólisis y el acetil-CoA.
3. Describe los sistemas de lanzaderas y obtiene el balance global de la respiración, comparando su rendimiento con el de las rutas fermentativas.

## Requisitos de la Unidad:

Deben conocer los siguientes conceptos:

1. Nutrición.
  - a. Nutrición vs Alimentación
  - b. Respiración-Ventilación
2. Metabolismo
  - a. Catabolismo
  - b. ATP
  - c. Enzima
3. Célula
  - a. Mitocondria



Metabolismo Celular  
Manuel Rodas Llanos  
Biología y Geología  
ISBN: SCB6908A86JD3

**Temporalización:** 2 clases de 55 minutos.

**Alumnado:** 1º Bachillerato.

## Material empleado:

Libro desarrollado por el profesor en la plataforma educativa *escholarium*.

<https://eschoform.educarex.es/coursePlayer/curso2.php?idcurso=15512>



## Clase 1. CITOSOL

### OBJETIVO

Conocer las formas en que los seres vivos obtienen energía sin el concurso del oxígeno.

### RESULTADOS ESPERADOS

1. Explica la función del ATP como intermediario universal de energía libre y la del NAD como intermediario en la transferencia de electrones.
2. Elabora el balance completo de la glucólisis, escribir las ecuaciones globales de las rutas fermentativas.

### TIEMPO :

55 minutos.

### INICIO CLASE 1

---

### OBJETIVO:

En esta clase vamos a aprender para qué sirve el ATP, de qué forma se obtiene y cómo nos afecta en nuestra vida diaria.

### Conceptos previos:

1. Nutrición.
  - a. Nutrición vs Alimentación
  - b. Nutrientes: Glúcidos
2. Metabolismo
  - a. Catabolismo
  - b. ATP
  - c. Enzima

### Ejemplos de Preguntas de indagación:

¿Cuándo oyes la palabra metabolismo qué te sugiere?

¿Necesitamos energía para andar? ¿y para respirar? ¿y para dormir?

## RESULTADOS ESPERADOS

Tengan clara las diferencias entre nutrición y alimentación y la relación que existe entre la Nutrición y el Metabolismo.

Conozcan que mediante el metabolismo obtenemos materia y energía para todas nuestras funciones vitales.

TIEMPO: 10 minutos

## DESARROLLO CLASE 1

---

### OBJETIVO

#### **Conceptos a desarrollar:**

Glucólisis

Fermentaciones. F. Alcohólica y F. Láctica

## RESULTADOS ESPERADOS

Se pretende que el alumno ancle los conceptos de glucólisis y fermentación como procesos de obtención de energía-ATP en todos los seres vivos.

TIEMPO: 35 minutos

### *Actividades*

---

Para alcanzar los resultados esperados, se emplearán como ejemplos conocidos por el alumno, la formación de ácido láctico en el músculo de las personas, la formación de yogur debido a bacterias lácticas, así como la producción de bebidas alcohólicas o pan por la acción de hongos unicelulares.

#### **Pregunta inicial: (5 minutos)**

¿Qué es lo que pasa para que el mosto se transforme en vino?

¿Por qué se dice que cuece?

¿Por qué el yogur natural es ácido?

### Esquema de la fermentación:

Materia orgánica (Glúcido) -----> Producto muy energético + ATP + H<sub>2</sub>O

#### Tipos

- Fermentación láctica



- Fermentación alcohólica



### Diapositiva 1. Definición de Fermentación y Respiración (5 minutos)

# 1 | Catabolismo

Los procesos catabólicos ocurren de forma similar en los seres autótrofos y heterótrofos:

Biomoléculas grandes (glúcidos, lípidos o proteínas) que se oxidan gradualmente liberando energía útil para la célula. En general, podemos resumirlo así:



Podemos distinguir dos tipos de procesos catabólicos:

La **fermentación**: es la oxidación parcial de moléculas orgánicas, siendo el último aceptor de los electrones otra molécula orgánica. Se produce en condiciones especiales y origina productos residuales muy energéticos aún (etanol, ácido láctico) que no se queman por falta de oxígeno.

La **respiración**: es la oxidación completa de moléculas orgánicas, siendo el último aceptor de los electrones una molécula inorgánica:

\* Si esta molécula inorgánica es el oxígeno, la respiración se llama **aeróbica**.

\* Si es una molécula distinta del oxígeno (nitrato, sulfato azufre, CO<sub>2</sub>, Fe<sup>3+</sup>), la respiración se llama **anaeróbica**. Solo la llevan a cabo algunas bacterias descomponedoras, pero son muy importantes en los ecosistemas porque cierran el ciclo de la materia.

### Preguntas de indagación por grupos (4 minutos)

¿Los humanos fermentamos?

Si es así y el objetivo es obtener energía ¿Para qué lo hacemos?

**Actividad: Problema (4 minutos)**

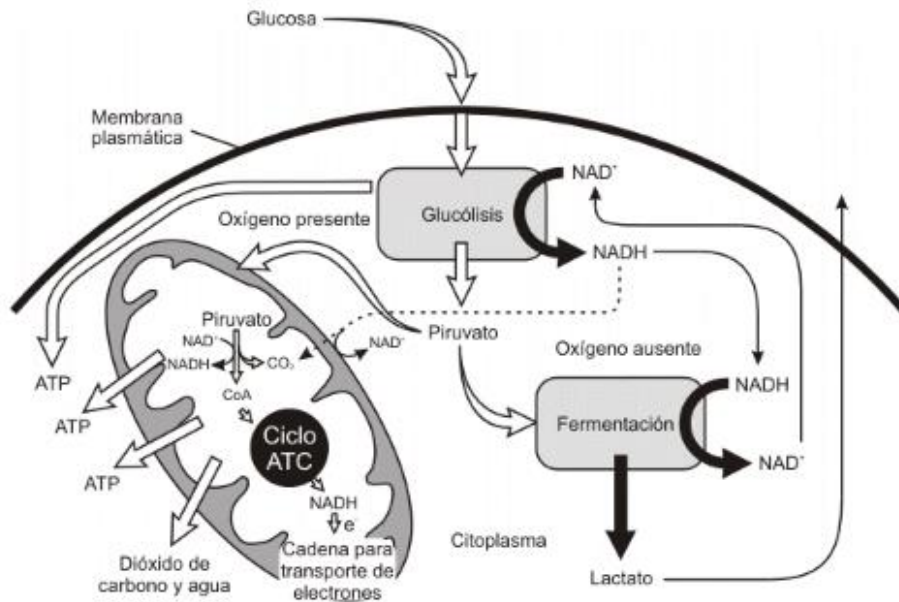
Si mi músculo necesita  $10^5$  ATP para levantar una pesa, en sangre tengo 30000 unidades de glucosa y se encuentra sin oxígeno ¿podré levantarla?

**Diapositiva 2. Esquema Global del proceso de obtención de energía. (3 minutos)**

# CATABOLISMO DE LOS 2 GLÚCIDOS 1

La mayoría de los glúcidos están formados por glucosa. La glucosa es el principal combustible celular y su degradación ocurre igual en animales y vegetales, pero varía su procedencia. En los animales, la glucosa procede de la digestión de los alimentos o de la hidrólisis del glucógeno almacenado. En los vegetales, la glucosa procede de la fotosíntesis o de la hidrólisis del almidón almacenado. Por otra parte, también de las grasas se puede obtener glucosa y al revés.

La degradación de la glucosa ocurre en varias etapas sucesivas y puede ser total (con  $O_2$ ) o parcial



### Diapositiva 3. Glucólisis (5 minutos)

## 3 | Glucólisis

La **glucólisis** o glicolisis es la ruta metabólica que inicia la degradación de la glucosa. Tiene lugar en el **citósol** y consiste en 10 reacciones consecutivas que rompen la glucosa en **2 moléculas de ácido pirúvico**, con la producción de **2 moléculas de ATP**. Funciona prácticamente en todos los seres vivos y es la primera etapa tanto de la respiración aerobia como de las fermentaciones.

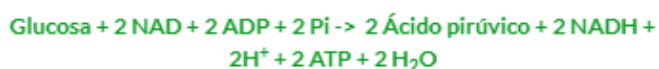
Se llama también la ruta metabólica de Embden-Meyerhoff.

La finalidad de la glucólisis es doble:

1. Comenzar la degradación de la glucosa para generar ATP.
2. Producir precursores (moléculas sencillas) para las reacciones de biosíntesis del anabolismo, por ejemplo, la formación de ácidos grasos.

La velocidad de la glucólisis está regulada mediante retroalimentación negativa o inhibición por producto final (si hay mucho piruvato, se detiene la glucólisis).

El balance total de la glucólisis es:



**\*Terminada la explicación se visionará y escuchará el recurso de un video educativo, que contiene un RAP para el aprendizaje de la Glucólisis (Medicina Educativa / Medicina Orientativa) (4:39)**

<https://www.youtube.com/watch?v=MnyQdydqOto>



Rap de la Glucólisis

Actividad. ¿Qué es la glucólisis? (2 minutos) (En libro del profesor)

# 4 | Rellena la glucólisis

Rellena los espacios en blanco.

La **glucólisis** o **glicólisis** (del griego *glycos*,

y *lysis*, ruptura) es la

encargada de

la glucosa con la finalidad de

obtener  para la célula. Consiste en

10 reacciones  consecutivas que

convierten a la  en dos moléculas de

.

El tipo de glucólisis más común y más conocida es la vía de

, explicada inicialmente por Gustav

Emden y Otto Fritz Meyerhof. Es la vía inicial

del catabolismo de .

Actividad. Los compuestos de la glucólisis (3 minutos)

<https://www.cerebriti.com/juegos-de-ciencias/compuestos-de-la-glucolisis>

00/07 Arrastra cada respuesta hasta su lugar en el mapa. 01:47

Fructosa 6-fosfato

1,3-Bisfosfoglicerato

2-Fosfoglicerato

3-Fosfoglicerato

Fructosa 1,6-bisfosfato

Fosfoenolpiruvato

Glucosa 6-fosfato

Acti  
Ve a t

## CIERRE CLASE 1

---

### OBJETIVO

Evaluar que los alumnos han comprendido el concepto de glucólisis y su importancia como inicio de los procesos catabólicos de todos los seres vivos.

### RESULTADOS ESPERADOS

El alumno deberá demostrar que maneja el concepto de glucólisis y fermentación

TIEMPO 10 minutos

#### **Preguntas de indagación glucólisis**

¿Qué tipo de organismos no hacen la glucólisis?

#### **Preguntas de indagación fermentación**

¿A qué se puede deber que después de hacer abdominales durante un buen rato, nos produzca como pinchazos? ¿Tiene algo que ver con la elaboración del yogur?

## CLASE 2. MITOCONDRIA

### OBJETIVOS

Conocer la importancia del oxígeno en la obtención de energía.

Definir respiración celular, e identificar las rutas metabólicas, más importantes. Obtener el balance global y los rendimientos energéticos, y establecer las conclusiones generales del proceso.

### RESULTADOS ESPERADOS

- Identifica los reactivos, las fases y la ecuación global de la respiración celular.
- Establece las conexiones entre la glucólisis y el acetil-CoA.
- Señala las etapas, las características, el balance y la ecuación global del ciclo de Krebs.
- Explica el papel del oxígeno y la síntesis de ATP.
- Compara el rendimiento de la respiración celular con el de las rutas fermentativas.

### TIEMPO :

55 minutos.

### INICIO CLASE 2

---

#### OBJETIVO:

Ya que sabemos lo importante que es el ATP, en esta clase, vamos a aprender como obtenemos los seres superiores mayores cantidades.

#### Conceptos previos:

1. Glucólisis
2. Fermentación
3. Mitocondrias

#### Ejemplos de Preguntas de indagación:

¿Qué es la glucólisis? ¿Para qué vale? ¿Dónde se hace? ¿Cuál es el sustrato final y qué le puede pasar?

¿Qué relación tiene con la fermentación? ¿Qué organismos no realizan la fermentación?



## RESULTADOS ESPERADOS

Recordar la importancia de la glucólisis en la obtención de energía sin la presencia del oxígeno.

TIEMPO: 5 minutos

## DESARROLLO CLASE 2

---

### OBJETIVO

#### Conceptos a desarrollar:

1. Respiración Celular Aerobia
  - a. Ciclo de Krebs
  - b. Cadena Respiratoria

## RESULTADOS ESPERADOS

Se pretende que el alumno fije el concepto de Respiración Celular Aerobia, como la verdadera razón por la que necesitamos respirar, obtener energía para vivir.

### TIEMPO

40 minutos

### *Actividades*

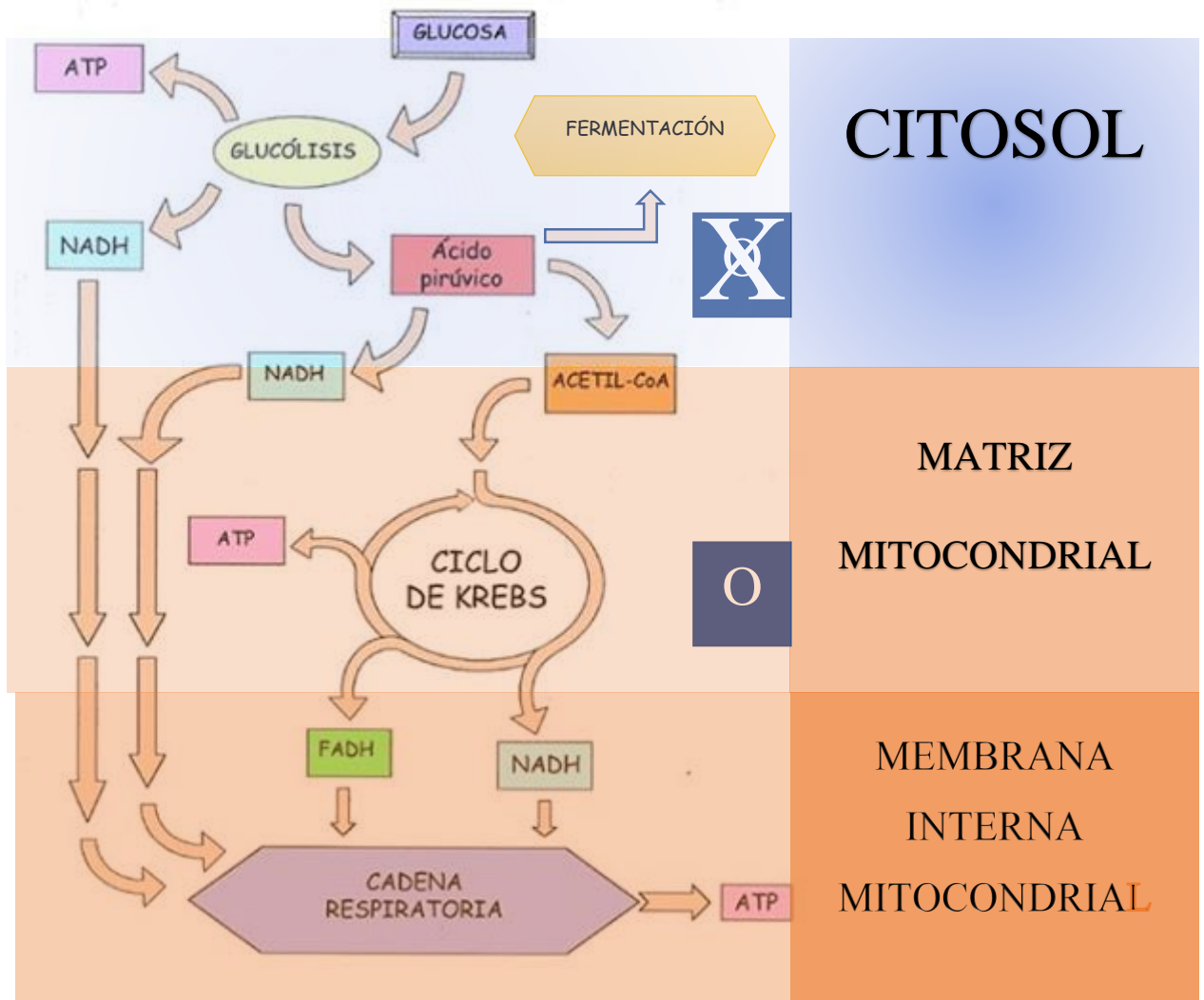
---

#### **Preguntas iniciales: (5 minutos)**

¿Por qué respiramos?

¿Qué relación hay entre respiración y respiración celular?

Esquema inicial: (3 minutos)



## Diapositiva 1. El ciclo de Krebs (2 minutos)

# 1 | El ciclo de Krebs

Consiste en una ruta circular que tiene lugar en la matriz mitocondrial. Durante ella el acetil-CoA se oxidará completamente hasta  $\text{CO}_2$ , al perder sus átomos de hidrógeno. Se produce poca energía pero muchos coenzimas reducidos.

El ciclo de Krebs se llama también ciclo del ácido cítrico o ciclo de los ácidos tricarbóxicos. Es una vía común en la oxidación de todas las moléculas que actúan como combustibles celulares: no solo los monosacáridos, sino también ácidos grasos, glicerina y aminoácidos.

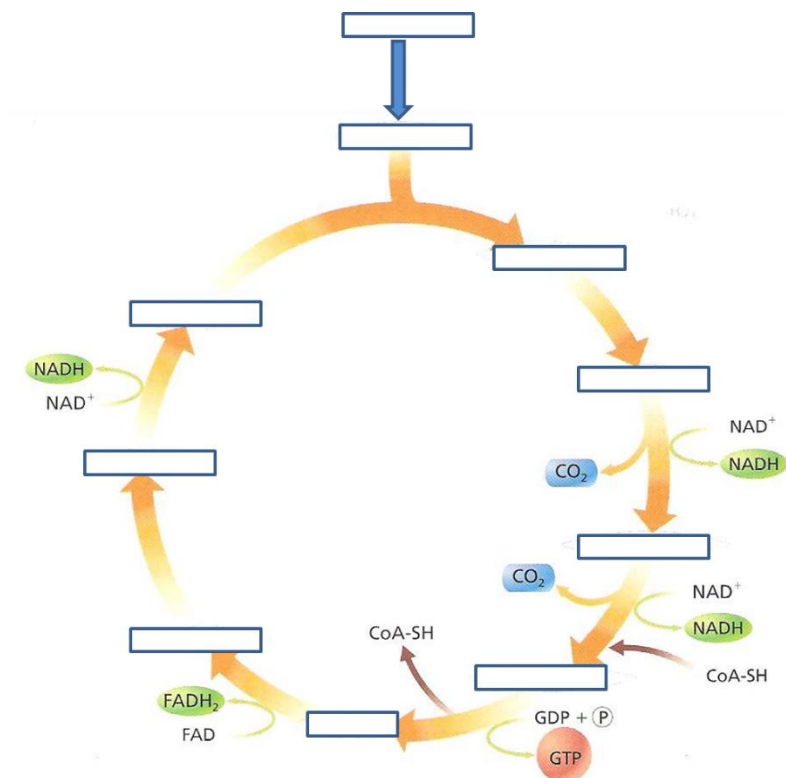
Por cada vuelta del ciclo se obtiene: **1 GTP, 3 (NADH + H<sup>+</sup>), 1 FADH<sub>2</sub> y 2 CO<sub>2</sub>**. Las coenzimas reducidas pasarán a la siguiente etapa.



Rap del Ciclo de Krebs

### Actividad: Rellena el siguiente esquema siguiendo el RAP del Ciclo de Krebs (3 minutos)

<https://www.youtube.com/watch?v=dY2sfuA1UPc>

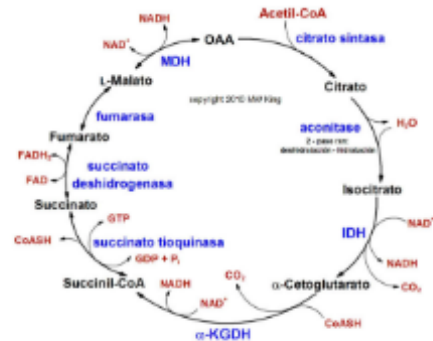


Actividad: Empareja la enzima con su proceso (En libro del profesor) (3 minutos)

## 2 | Enzimas del Ciclo

Relaciona los siguientes elementos:

Condensación	Citrato sintasa
Isomerización	Fumarasa
Descarboxilación Oxidativa	Deshidrogenasa
Fosforilación a nivel de sustrato	Quinasa
Hidratación	Aconitasa



Corregir

Reiniciar Ejercicio

Quedan 3 intentos

Actividad por equipos. (10 minutos)

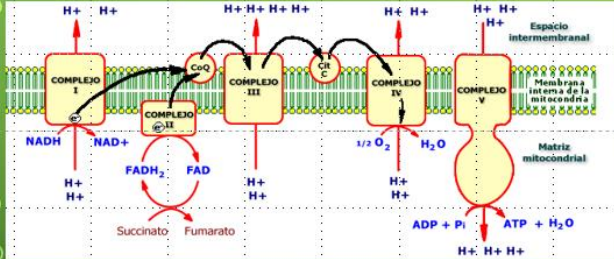
¿Qué equipo es el más rápido?

Hacemos grupos de 3. Cada uno con su portátil debe rellenar el ciclo de Krebs. Gana el equipo que tarde menos, tras sumar los tiempos de los tres componentes.

<https://www.cerebriti.com/juegos-de-ciencias/ciclo-de-krebs>

Diapositiva 2. La Cadena Respiratoria (5 minutos)

## CADENA RESPIRATORIA



- ¿Qué es?
  - Una serie de enzimas y complejos enzimáticos
- ¿Dónde está?
  - En la membrana interna de la mitocondria
- ¿Para qué vale?
  - Para fosforilar el ADP a ATP (fosforilación oxidativa). PRODUCIR ENERGÍA
- ¿Qué necesita para producirla?
  - Oxígeno y el NADH producido en la Glucólisis y en el ciclo de Krebs

Actividad de indagación grupal (2 minutos)

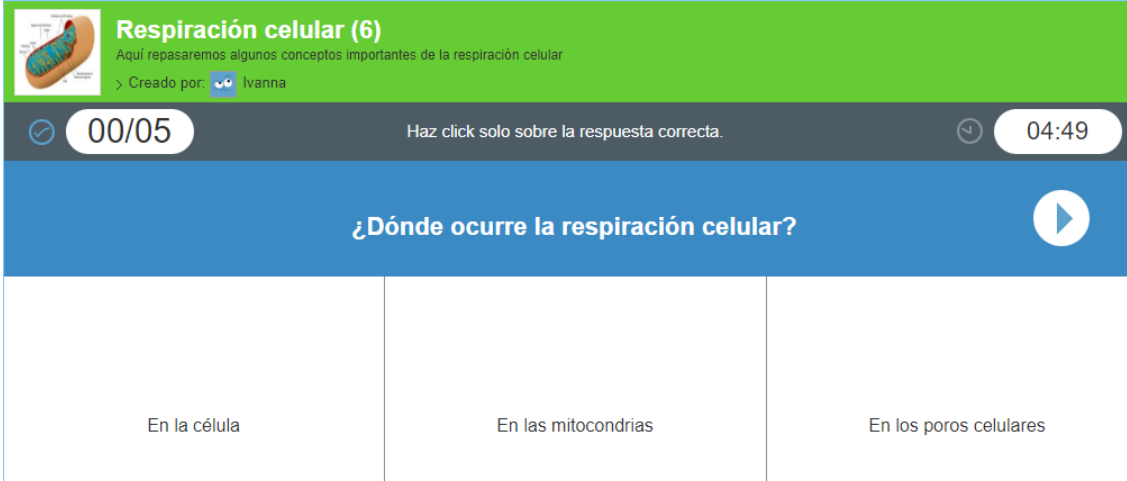
¿Cómo creéis que se produce el agua metabólica?

Balance Energético Final (3 minutos)

CUADRO I				
Rendimiento energético máximo, obtenido por oxidación completa de la glucosa				
Proceso		Producción de moléculas en:		
		Citosol	Matriz mitocondrial	Transporte electrónico
Glucólisis		2 ATP		2 ATP
		2 NADH		6 ATP
Fase aerobia de la respiración	Ácido pirúvico a acetil-CoA		2 × (1 NADH)	2 × (3 ATP) → 6 ATP
	Ciclo de Krebs		2 × (1 ATP)	2 ATP
			2 × (3 NADH)	2 × (9 ATP) → 18 ATP
		2 × (1 FADH <sub>2</sub> )	2 × (2 ATP) → 4 ATP	
TOTAL:				<b>38 ATP</b>

**Actividades finales.** Reta a tu compañero a ver quién contesta bien antes las cuestiones que os plantean estos dos juegos.

<https://www.cerebriti.com/juegos-de-ciencias/respiracion-celular2>

The image shows a screenshot of a game titled "Respiración celular (6)" on the Cerebriti website. The game header is green and includes a small diagram of a cell and mitochondria. Below the header, there is a progress indicator showing "00/05" and a timer set to "04:49". The instruction "Haz click solo sobre la respuesta correcta." is displayed. The question is "¿Dónde ocurre la respiración celular?" with a play button icon. Below the question, there are three answer options: "En la célula", "En las mitocondrias", and "En los poros celulares".

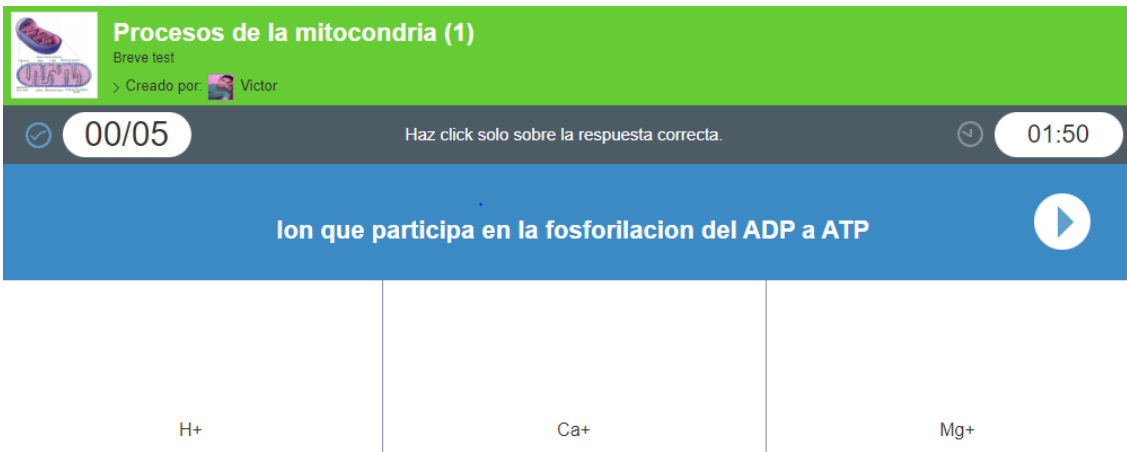
**Respiración celular (6)**  
Aquí repasaremos algunos conceptos importantes de la respiración celular  
> Creado por: Ivanna

00/05 Haz click solo sobre la respuesta correcta. 04:49

¿Dónde ocurre la respiración celular?

En la célula      En las mitocondrias      En los poros celulares

<https://www.cerebriti.com/juegos-de-ciencias/procesos-de-la-mitocondria->

The image shows a screenshot of a game titled "Procesos de la mitocondria (1)" on the Cerebriti website. The game header is green and includes a small diagram of a mitochondrion. Below the header, there is a progress indicator showing "00/05" and a timer set to "01:50". The instruction "Haz click solo sobre la respuesta correcta." is displayed. The question is "Ion que participa en la fosforilacion del ADP a ATP" with a play button icon. Below the question, there are three answer options: "H+", "Ca+", and "Mg+".

**Procesos de la mitocondria (1)**  
Breve test  
> Creado por: Victor

00/05 Haz click solo sobre la respuesta correcta. 01:50

Ion que participa en la fosforilacion del ADP a ATP

H+      Ca+      Mg+

## CIERRE CLASE 2

---

### OBJETIVO

Evaluar que los alumnos han comprendido la importancia de la respiración celular y la del oxígeno para la producción de energía.

### RESULTADOS ESPERADOS

El alumno deberá demostrar que maneja el concepto de respiración celular y conoce para qué vale el poder reductor obtenido en el ciclo de Krebs

TIEMPO 10 minutos

### **Preguntas de indagación**

¿Por qué las bacterias o los virus son tan pequeños?

¿Por qué hacer la glucólisis si la Respiración celular produce mucha más energía?

## Análisis de las clases

### **¿Cuáles son los datos, información y conocimiento involucrados en las experiencias de aprendizaje ofrecidas a sus estudiantes?**

En la unidad podemos encontrar tanto los datos como la información agrupados en las **Diapositivas y Actividades** normales, el conocimiento es necesario para responder a las denominadas **Actividades problema** y a las de **indagación** que hay en ambas clases.

Dentro de las cuestiones dedicadas al conocimiento caben destacar las **preguntas iniciales**, en ellas se pretende, ver cuál es el conocimiento previo del alumno para poder atacar posibles ideas alternativas que posea.

### **¿Cómo se considera la cultura de los alumnos de la clase?**

Las clases comienzan con unas cuestiones de indagación sobre las posibles preconcepciones que pudiera haberles dado la cultura. Se emplean además ejemplos propios de la tierra, como son la elaboración del vino o el yogur para que sean inicio del proceso de anclaje de conceptos. También se emplea la idea de culto al cuerpo, especialmente la “necesidad” que tienen los adolescentes de adelgazar para estar “atractivo” y ser “feliz”, como punto de partida para explicar los conceptos metabólicos.

Las clases están organizadas de tal manera que se alternen transmisión de conceptos apoyados en la cultura local con actividades individuales y grupales.

Las actividades individuales al ser “on line” están estructuradas para que cada alumno lleve su ritmo, aunque a efectos de programación se haya establecido unos tiempos.

### **¿Qué componentes de las experiencias de aprendizaje ofrecen oportunidades de desarrollar pensamiento crítico en sus estudiantes?**

Las actividades de indagación, las actividades problema y también algunas de inicio, estimulan el pensamiento crítico, pues por un lado el alumno debe comprender el significado fermentación o de respiración, ver qué relaciones existen entre ellos, qué consecuencias pueden darse de no hacer una u otra, construye sus propios juicios, por ejemplo, el porqué son necesarias, explica las relaciones entre los conceptos.



### **¿Cómo considera dentro del diseño de las experiencias de aprendizaje la zona de desarrollo próximo de sus estudiantes?**

Se parte del conocimiento y experiencias previas del alumno. En concreto, se parten de dos supuestos conocidos por ellos, la fermentación de los mostos y las denominadas “agujetas” que se tienen después de realizar un ejercicio fuerte. Sobre estas dos realidades del alumnado se desarrolla los contenidos relacionados con la obtención de energía sin oxígeno.

Sobre la idea de respirar para no asfixiarse se trabaja una idea alternativa sobre la respiración para acabar relacionándolo con la clase primera y mostrar que el oxígeno es para obtener más energía.

Para trabajar estas ideas es muy importante emplear como mediador el libro digital e internet.

### **¿Cuál es el rol de la tecnología en la actividad en la cual está presente?**

Es vital, el concepto de metabolismo y derivados son muy complejos, no se ven directamente y por eso el concurso de la tecnología es importante para evitar el tedio y el aburrimiento.

En estas clases el profesor presentará los datos, la información y algunas actividades con el libro electrónico elaborado por el mismo y a disposición del alumnado en la plataforma educativa *escholarium*.

Por otro lado, se utilizará la plataforma youtube para la visualización de los videos sobre glucólisis y ciclo, citados. Finalmente, también se empeará para los juegos señalados que están a disposición del alumnado en la web <https://www.cerebriti.com/juegos-de-ciencias/>



## 8.2 Cuestionarios



---

# CUESTIONARIOS

---

Conceptos Metabólicos



## Cuestionario 1

---

**NOMBRE:**

**SEXO:** V

M

**CURSO:**

**EDAD:**

**LOCALIDAD:**

---

- 1) La respiración, ¿crees que se relaciona con la nutrición? Explícalo.
- 2) ¿Cuál que es la principal función de la respiración?
- 3) Indica cuáles son las células que respiran.
- 4) ¿La respiración tiene algo que ver con la respiración celular? Explícalo.
- 5) ¿Para qué valdrá el Oxígeno que respiramos?
- 6) Cuando se dice que algo está fermentando ¿a qué nos referimos?
- 7) La fermentación ¿tendrá algo que ver con la respiración?
- 8) Las plantas respiran ¿qué diferencias hay con la de animales?
- 9) Las células vegetales tienen respiración celular como en animales
- 10) Las plantas realizan la fotosíntesis, ¿para qué la hacen?
- 11) ¿La fotosíntesis y la respiración celular tienen algo que ver?
- 12) Supón que vas a hacer ejercicio, pero antes te tomas un vaso de agua con azúcar porque te han dicho que es bueno ¿Tiene esta acción sentido? Explícalo.
- 13) Supón que una célula de la piel de un dedo del pie va a dividirse y por tanto necesita energía.
  - a. ¿Cómo crees que la obtendrá?
  - b. Señala la ruta que seguirían las moléculas que intervendrían en este proceso
- 14) Supón que estás haciendo abdominales...
  - a. ¿De qué proceso obtienen tus células musculares la energía?
  - b. Al cabo de un rato, comienzas a notar pinchazos en el abdomen, ¿qué proceso está implicado?
- 15) Indica el camino que seguirá una molécula de dióxido de carbono desde que es absorbida por una lechuga, hasta que es comida por ti (la lechuga) y la emplee luego una célula de tu pulmón para obtener la energía para replicar su ADN.

## Cuestionario F

---

En el siguiente cuestionario debéis indicar lo de acuerdo o desacuerdo que estáis con las siguientes proposiciones. De tal manera que:

1      2      3      4      5

Nada de acuerdo                                    Totalmente de acuerdo

**NOMBRE:**

**SEXO:** V

M

**CURSO:**

**EDAD:**

**LOCALIDAD:**

---

1. En el proceso de elaboración del vino, se calienta el mosto para que se transforme en vino y por eso burbujea.
2. En el proceso de elaboración del vino. Se añaden productos químicos que hacen que hierva el mosto.
3. En el proceso de elaboración del vino se produce un burbujeo de CO<sub>2</sub> porque están creciendo seres vivos en el mosto.
4. En el proceso de elaboración del vino, el mosto no cuece, solo es un proceso de liberación de CO<sub>2</sub>, consecuencia directa de la adición de gas sulfuroso.
5. En el proceso de elaboración del vino, el mosto cuece, por las sustancias físico-químicas presentes en las cubas del vino.
6. La fermentación es un proceso industrial mediante el que obtenemos vino del mosto de la uva.
7. La fermentación es un proceso físico-químico originado por la adición de CO<sub>2</sub>
8. La fermentación es un tipo de metabolismo (forma de vida) de ciertas bacterias
9. La fermentación es el mecanismo por el cual algunos microorganismos son capaces de consumir algunos azúcares simples.
10. La fermentación es un proceso físico que implica un tratamiento térmico (aumento de la temperatura) y que ocurre en diferentes alimentos (vino, pan, etc.).
11. Es posible encontrar ácido láctico en los músculos de nuestro cuerpo consecuencia de que han realizado un proceso fermentativo.
12. La degradación de los hidratos de carbono en condiciones anaerobias es un proceso que puede tener lugar en cualquier célula.

13. La degradación de los hidratos de carbono en condiciones anaerobias es un proceso que se llama fermentación.
14. Durante la fermentación alcohólica por cada ácido pirúvico se forman 1 etanol y 1 CO<sub>2</sub>
15. Durante la fermentación alcohólica por cada ácido pirúvico se forman 1 etanol y 1 ATP
16. La degradación de los hidratos de carbono en condiciones anaerobias es un proceso que produce más energía que si tuviese lugar en condiciones aerobias.
17. Cuando el oxígeno no llega a los músculos con suficiente rapidez, se produce la fermentación Muscular Esquelética.
18. La degradación de los hidratos de carbono en condiciones anaerobias es un proceso que desde el punto de vista evolutivo es muy reciente.
19. La degradación de los hidratos de carbono en condiciones anaerobias es un proceso que solo es producido por seres unicelulares, entre otros: bacterias como Lactobacillus o levaduras como Sacharomyces.
20. Las levaduras se utilizan en la alimentación como conservantes y/o antioxidantes
21. En los yogures los L.Casei son unas sustancias químicas especiales que favorecen nuestro desarrollo.
22. En los yogures los L.Casei son aditivos presentes en los yogures líquidos de la marca actimel
23. En los yogures los L.Casei, no son nada concreto, es un reclamo publicitario de la marca actimel
24. En los yogures los L.Casei, son vitaminas que se encuentran en determinados yogures.
25. En los yogures los L.Casei, son seres vivos que están en los yogures de todas las marcas.
26. La adición de sustancias químicas como los aditivos alimentarios producen la fermentación de la carne.
27. Las presencias de fragmentos de células favorecen la fermentación de la carne
28. La fermentación de la carne es debida a la actuación de determinados seres vivos
29. La fermentación de la carne es debida a la presencia de toxinas de Levaduras entre otras.
30. El mantener la carne en unas buenas condiciones de temperatura y humedad es el factor principal para que pueda fermentar.
31. Antiguamente, se guardaba parte de la masa de pan del día para el día siguiente. Este proceso se realizaba para que durante la noche se produjeran reacciones químicas sin la intervención de seres vivos, que favorecían el amasado del día siguiente.
32. Antiguamente, se guardaban parte de la masa de pan del día para el día siguiente. Este proceso se realizaba para que se originaran durante la noche levaduras, debido al descanso de la masa de pan.
33. La masa de pan se guardaba de un día para otro para que se multiplicaran en la masa los suficientes microorganismos para elaborar el pan del día siguiente.
34. La masa de pan se guardaba de un día para otro para que la masa creciera como consecuencia de la acción de hongos microscópicos.

35. La fermentación alcohólica y la fermentación láctica tienen en común la obtención de energía por degradación de glucosa, requiriendo oxígeno molecular.
36. Las fermentaciones alcohólicas se realizan a nivel de citosol
37. La fermentación Láctica se realiza a nivel mitocondrial pues se da en humanos
38. En la fermentación se obtiene la misma cantidad de energía que en la respiración por eso se emplean indistintamente.

# Cuestionario ER

**En las celdas de la hoja de cálculo vais a comparar conceptos y empleareis un rango de valores que va del 0 al 99, donde "0" indica que son conceptos nada relacionados y el valor "99" totalmente relacionados.**

**NOMBRE:**

**SEXO:** V

M

**CURSO:**

**EDAD:**

**LOCALIDAD:**

	Nutrición	Electrones	Metabolismo	Respiración Celular	Agua	Glucosa	Energía	Oxígeno	Cloroplasto	Estomas	Dióxido de carbono	Fotosíntesis	Intercambio gaseoso	Luz
Nutrición														
Electrones														
Metabolismo														
Respiración Celular														
Agua														
Glucosa														
Energía														
Oxígeno														
Cloroplasto														
Estomas														
Dióxido de carbono														
Fotosíntesis														
Intercambio gaseoso														
Luz														
¿Conocías todos los conceptos que has comparado? ¿Cuál no?														
¿Te ha resultado difícil?														
¿Qué has sentido haciéndolo? (Ira, tristeza, aburrimiento, alegría, alivio, tranquilidad, sorpresa, etc.)														
														Activ



