



Revista Eureka sobre Enseñanza y
Divulgación de las Ciencias

E-ISSN: 1697-011X

revista@apac-eureka.org

Asociación de Profesores Amigos de la
Ciencia: EUREKA
España

Ferrés-Gurt, Concepció

El reto de plantear preguntas científicas investigables

Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, vol. 14, núm. 2, 2017, pp.

410-426

Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia: EUREKA
Cádiz, España

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92050579009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

El reto de plantear preguntas científicas investigables

Concepció Ferrés-Gurt

Profesora de Educación Secundaria y Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad Autónoma de Barcelona. España. cferres@hotmail.com

[Recibido en septiembre de 2016, aceptado en marzo de 2017]

El estudio tiene el objetivo de examinar las dificultades de los bachilleres en la identificación de preguntas científicas investigables en el marco de la realización de trabajos de indagación autónoma y también cuando se les proponen ejercicios relacionados con la competencia de evaluar y diseñar indagaciones científicas. Los referentes de la literatura consideran la identificación de preguntas investigables como el primer paso de la indagación y explicitan las características que definen estas preguntas. Estos referentes también indican que la confusión entre preguntas de información y preguntas de investigación es uno de los errores más habituales de los estudiantes y los resultados del presente estudio coinciden en esta apreciación. Se ha observado que la comprensión conceptual del fenómeno es un elemento necesario para identificar preguntas científicas investigables, pero no suficiente. Se ha examinado la evolución de los estudiantes desde las preguntas iniciales de información como '¿Qué es...?' o '¿Por qué...?' hasta las preguntas adecuadas, que son preguntas investigables, como '¿Qué sucede si...?' o '¿Se observa alguna diferencia si...?', y se ha mostrado que el diálogo entre estudiante y profesor favorece el proceso.

Palabras clave: trabajos de indagación científica; preguntas investigables; preguntas de información; diálogo de metareflexión.

The challenge for proposing inquiry questions

This study aims to describe high school students' difficulties in identifying inquiry questions when they make an open and autonomous inquiry work and when being proposed exercises related to the competence to evaluate and design scientific inquiry. Literature referents suggest that identifying inquiry questions is the first step in inquiry works, and describes characteristics of this kind of questions. Such referents also indicate that confusing information questions with inquiry questions is one of the most usual mistakes among students and results of this study show a similar pattern. It has been observed that conceptual understanding of the phenomena is a necessary but not sufficient element to identify scientific inquiry questions. The progress from initial information questions such as 'What is...?' or 'Why...?' to adequate inquiry questions such as 'What does it happens if...?' or 'May be observed some difference if...?' has been monitored and it has been shown that a fluent dialogue between students and teachers enhances the process.

Keywords: Inquiry works; inquiry questions; information questions; metareflexion dialogues.

Para citar este artículo: Ferrés-Gurt C. (2017) El reto de plantear preguntas científicas investigables. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14 (2), 410-426. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/19226>

Introducción

Este estudio aborda la indagación como objeto de aprendizaje (Simarro, Couso y Pintó 2013), los contenidos para hacer ciencia que se espera que aprenda el alumnado. En el bachillerato es habitual proponer a los estudiantes la realización de trabajos de indagación abierta y autónoma (TI), pero los trabajos prácticos que habitualmente se abordan en las aulas tienen un nivel bajo de indagación (Fay, Grove, Towns y Bretz 2007; Tamir y García 1992) ya que en ellos los estudiantes no deben plantear preguntas investigables sino que es el profesor quien las propone. Diversos autores han analizado las dificultades de los estudiantes para plantear preguntas investigables (Furman, Barreto y Sanmartí 2006; Kelsey y Steel 2001). En esta experiencia se examina la evolución de los estudiantes en la formulación de preguntas investigables en el marco de la realización del TI y el papel del profesor en el asesoramiento. También se presenta un estudio realizado con tres estudiantes a los que se les describen diversas investigaciones para que identifiquen las preguntas que las han inspirado.

Fundamentos teóricos

Actividades de indagación y preguntas investigables

La investigación en didáctica de las ciencias considera la indagación como objeto de aprendizaje: no se trata tan solo de enseñar conocimientos científicos, sino también de enseñar los métodos utilizados por la ciencia para obtenerlos (NRC 1996, 2012; OECD, 2013). Martin-Hansen (2002) explica que la indagación se refiere a actividades como proponer preguntas, planificar investigaciones y revisar aquello ya conocido a la luz de nuevas evidencias, a la manera de los científicos, y afirma que la clave está en el hecho que los estudiantes formulen preguntas que guíen estas investigaciones. Tradicionalmente, la mayoría de los autores considera tres grandes procesos: plantear preguntas y formular hipótesis, planificar y realizar investigaciones, y analizar datos. Por ejemplo, en esta línea, Mayer (2007) explica que en los procesos de indagación científica hay que identificar preguntas investigables, formular hipótesis, planificar y realizar investigaciones, y recoger, e interpretar datos considerando las hipótesis y los conceptos científicos relacionados. Y Zimmerman (2005) describe procesos similares: proponer preguntas, formular hipótesis y recoger e interpretar datos. Desde un punto de vista más estricto y generalizable, Lederman et al. (2014) consideran que todas las investigaciones científicas empiezan con una pregunta pero que no forzosamente deben testar una hipótesis. De hecho, Bell, Maeng y Peters (2010) sostienen que para que una actividad sea considerada de indagación simplemente debe cumplir dos condiciones, que incluya una pregunta investigable y que implique que los estudiantes analicen datos para responderla.

Diversos autores sugieren procesos didácticos para orientar los trabajos de indagación (Ben David y Zohar 2009; Caamaño 2012; Duschl y Bybee 2014; Möller y Mayer 2010; NRC 2012; Nowak, Nehring, Tiemann y Upmeier zu Belzen 2013; Windschitl, Thompson y Braaten 2008) y todos ellos coinciden en el primer paso: identificar preguntas investigables. Así pues, una de las habilidades fundamentales de los estudiantes para realizar indagación científica es la de identificar cuestiones que puedan responderse por medio de investigaciones (Llewellyn 2005; NRC 1996; OECD-PISA 2006).

La comprensión conceptual de los fenómenos observados es un requisito indispensable en el desarrollo de la capacidad de formular preguntas investigables (Furman, Barreto y Sanmartí 2006; Windschitl, Thompson y Braaten 2008). La OECD también cita la referencia necesaria a los conceptos científicos, y precisa que la formulación de preguntas científicas implica la capacidad para identificar términos clave con el objeto de buscar información sobre el tema (OECD-PISA 2006). Otros autores precisan que, en primera instancia, el estudiante extrae una pregunta investigable a partir de la comprensión de ideas científicas asociadas con algún fenómeno natural y, en segunda instancia, genera información científica basada en datos (Abell y Lederman 2007). Lombard y Schneider (2013) afirman que la elaboración de preguntas es un proceso interactivo entre alumno y profesor, e iterativo, que conduce de la vaguedad hasta la complejidad y adecuación, y que necesita tiempo.

Características de las preguntas investigables

Cuando se habla de una pregunta investigable se hace referencia a la relación entre diferentes factores o fenómenos que puede ser investigada, que se puede responder recogiendo datos y analizándolos. En la indagación científica debe tratarse de una *pregunta científica investigable*, es decir, de una pregunta que implique conceptos de las ciencias. Sanmartí y Márquez (2012) afirman que una pregunta científica investigable bien formulada es más de media investigación y se considera que a menudo es más difícil encontrar buenas preguntas que no buenas respuestas.

Para analizar las preguntas de los estudiantes Roca, Márquez y Sanmartí (2013) utilizan la propuesta de Graesser, Mc Mahen y Johnson (1994) que distingue entre los presupuestos o hechos relacionados con un contenido (que posibilita identificar los conocimientos o ideas que se presuponen y que se han activado al plantear la pregunta) y un interrogante u objetivo o demanda (que permite reconocer las expectativas que se activan al plantear la pregunta). Por ejemplo, la pregunta *¿Por qué aparecen larvas de mosca en la carne en descomposición?*, el presupuesto es la formación de larvas y el interrogante es por qué sucede, de donde provienen las larvas. Cuando Redi, en el siglo XVII, se planteó esta pregunta, la demanda era si se producía o no generación espontánea. Pero la pregunta, así formulada, no es investigable. En los modelos didácticos de transmisión de conocimiento, el docente habitualmente plantea preguntas no investigables a las que responde basándose en contenidos. En contraposición, en los modelos constructivistas el profesor plantea preguntas investigables en las que los contenidos son instrumentalizados (Domènech 2014), es decir, se utilizan para acotar las preguntas, para generar la formulación de hipótesis, para orientar los pasos de la investigación.

La formulación de problemas investigables es un proceso complejo, que se relaciona con habilidades de orden cognitivo elevado o HOCS (Higher Order Cognitive Skills) de acuerdo con la terminología propuesta por Zoller y Tsaparlis (1997) porque no se responde recordando información o aplicando conocimiento sino mediante procesos complejos (que son los que implican identificar problemas abiertos, tomar decisiones, analizar datos y evaluarlos). Como afirma Domènech (2014), un punto en el que tradicionalmente los docentes encontramos dificultades es en la confección de preguntas de partida útiles para una investigación; además, de las preguntas que pueden despertar el interés de los estudiantes, no todas posibilitan iniciar una investigación. Comenta que, en general, las preguntas que empiezan por *¿Por qué...?* o por *¿Cómo...?* son no investigables puesto que a partir de ellas no se puede diseñar metodología de obtención de datos, mientras que las preguntas que empiezan por *¿Qué sucede si...?* o por *¿Se observa alguna diferencia si...?* son investigables. El asesoramiento del profesor debe ayudar al estudiante a transformar preguntas no investigables en preguntas investigables. El mismo autor sugiere que un método eficaz consiste en identificar con los estudiantes cuáles son las variables que participan en la situación planteada y formular preguntas sobre ellas. Es importante afrontar un proceso de reformulación de la pregunta para refinarla. El ejemplo propuesto *¿Por qué aparecen larvas de mosca en la carne en descomposición?* es una muestra de pregunta no investigable que se puede reformular concretando *¿Qué sucede si no dejamos que las moscas se acerquen a la carne?*; y con esta nueva formulación el estudiante puede identificar la variable independiente: dejar o no que las moscas accedan a la carne. Kelsey y Steel (2001) distinguen entre preguntas de información y preguntas investigables: al iniciar un trabajo de indagación abierta y autónoma es habitual que los estudiantes planteen preguntas de información. Las autoras sugieren que las respuestas a preguntas investigables son como los bloques de construcción de una teoría científica mientras que las respuestas a preguntas de información se construyen con las respuestas a muchas preguntas investigables. Afirman que un proyecto de investigación no puede responder preguntas de información (como *¿Por qué vuelan los pájaros?*), porque para ello hacen falta gran cantidad de estudios. En cambio, las preguntas investigables plantean una comparación específica que puede ser testada (como *¿Los pájaros vuelan más rápidamente en días soleados o cuando llueve?*). Si la pregunta planteada es investigable es fácil imaginar qué datos deben obtenerse para responderla.

Desde esta perspectiva, los objetivos de este estudio son:

- Examinar la evolución de los estudiantes en el planteamiento de preguntas investigables al iniciar trabajos de indagación

- Examinar qué dificultades muestran los estudiantes cuando deben identificar las preguntas investigables que han inspirado una investigación

Metodología

Contexto y proceso de obtención de datos

La investigación se ha realizado en un instituto público de Cataluña, durante el curso 2014-15, con un grupo (N=36) de primero de bachillerato científico que iniciaba el TI y con tres estudiantes voluntarios de segundo que mostraron su disposición a realizar sesiones de trabajo al finalizar el horario lectivo.

Se han recogido las preguntas propuestas en una primera sesión (S1) y las propuestas al cabo de tres semanas (S3), período durante el cual los estudiantes debían reunirse con el profesor/a asesor/a de su trabajo. Previamente se les había explicado qué características debía tener el TI según el currículum competencial. Además, fueron escogidos cinco estudiantes (E1, E2, E3, E4, E5) por el hecho que compartían la profesora asesora y que ésta mostró su disposición a seguir las pautas de orientación indicadas por la investigadora. Se han recogido sus propuestas en tres sesiones de trabajo individual (S1, S2, S3), una por semana, que planteó la profesora para sugerir a los estudiantes que propusieran preguntas y para comentar con ellos su idoneidad. Al finalizar cada sesión les comentaba qué es una pregunta investigable y qué es una pregunta de información, les daba información teórica sobre el tema escogido, y les sugería y facilitaba la búsqueda de precedentes de su investigación. En la siguiente sesión, la profesora, partiendo de las preguntas anteriores, proponía al estudiante que las matizara y reformulara, y le comentaba que las preguntas debían poder responderse analizando datos y debían hacer referencia a conceptos científicos.

Por otra parte, en el estudio con tres estudiantes de segundo, en sesiones de una hora semanal durante cinco meses, se les proponían ejemplos de investigaciones y se les pedía, entre otras habilidades de indagación, la identificación de las preguntas que las habían inspirado ([anexos 1-6](#)). Las respuestas iniciales eran por escrito y posteriormente se recogían los diálogos entre estudiantes e investigadora, la mayoría por correo electrónico, para comentar estas respuestas y sucesivas revisiones. Uno de los estudiantes, una chica, asistió a todas las sesiones, respondió todos los correos de la profesora (autora del artículo), y revisó la transcripción final de todo el proceso.

Proceso de análisis de datos

Planteamiento de preguntas investigables al iniciar trabajos de indagación

En el análisis de las preguntas se ha aplicado dos criterios: si la pregunta se puede responder analizando datos (Kelsey y Steel 2001) y si la pregunta sugiere la relación entre diversas variables.

Además, las preguntas han sido evaluadas utilizando una rúbrica (Figura 1b), con cinco niveles jerarquizados de competencia, propuesta por Autora en un estudio anterior. Möller y Mayer (2010) propusieron una rúbrica (Figura 1a) con la misma finalidad pero con una gradación distinta y que considera que en el nivel inferior los estudiantes ya muestran capacidad de formulación de preguntas científicas simples a partir de la observación de fenómenos. Los resultados de otros estudios (Doménech 2014; Ferrés, Marbà y Sanmartí 2015; Kelsey y Steel 2001) han aconsejado considerar que el alumnado muestra mayores dificultades y de entrada suele proponer preguntas que no son investigables o son investigables pero inabordables o están formuladas de manera ambigua. Por ello, y por la mayor idoneidad que mostró en el

ensayo previo de análisis de datos realizado por tres profesores de secundaria (uno de ellos la autora), usando las dos rúbricas, se escogió la rúbrica NPTAI, que recibe este nombre por haberse inspirado en el instrumento de evaluación PTAI o *Practical Test Assessment Inventory* diseñado por Tamir, Nussinovitz y Friedler (1982) (Nuevo PTAI o NPTAI). Sus niveles no incluyen, como en la de Möller y Mayer (2010), las habilidades de los niveles previos, sino que cada uno describe por sí solo las características propias del nivel. Los tres profesores evaluaron independientemente las preguntas propuestas por los estudiantes y posteriormente comentaron las discrepancias hasta conseguir consenso.

Rúbrica 1a (Möller y Mayer 2010)		Rúbrica 1b NPTAI (Ferrés, Marbà y Sanmartí 2015)	
I	Propone pregunta/as científicas simples relacionada/as con un fenómeno observado	0	No identifica preguntas investigables sino que propone preguntas de información
II	Propone pregunta/as científicas en las cuales se correlacionan dos variables	1	Plantea preguntas investigables pero inabordables
III	Propone pregunta/as científicas basada/as en conocimiento de conceptos biológicos	2	Plantea preguntas con formulación ambigua o genérica o mal formulada pero hay pregunta basada en hechos
IV	Propone pregunta/as científicas que son generalizables y/o cuantificables	3	Identifica preguntas adecuadas, relacionadas con conceptos científicos y basadas en hechos pero no concreta interrogantes que orienten la investigación
V	Propone pregunta/as científicas que incorporan técnicas de resolución o metodología	4	Plantea problemas investigables y concreta preguntas adecuadas relacionadas con conceptos científicos y basadas en hechos y que sugieren aspectos metodológicos

Figura 1. Rúbricas jerarquizadas para la evaluación de preguntas investigables

Identificación de preguntas investigables en ejemplos de indagación

Se han analizado las respuestas y comentarios de los estudiantes aplicando el criterio de si la pregunta propuesta podía responderse con datos y, aplicando el enfoque propio de un estudio de caso (Swanborn 2010), se han examinado las dificultades de los estudiantes, así como el papel del diálogo entre estudiante e investigadora para favorecer la reflexión.

Resultados y discusión

Planteamiento de preguntas investigables al iniciar trabajos de indagación

La Tabla 1 muestra las sucesivas propuestas de preguntas de los cinco estudiantes E1-E5 y su evaluación con la rúbrica NPTAI. En los cinco casos la pregunta inicial (S1) es una pregunta de información, correspondiente al nivel '1' de la rúbrica, mientras que las preguntas propuestas en S3 corresponden al nivel '4' de la rúbrica: se pueden responder analizando datos y sugieren metodología.

Tabla 1. Preguntas propuestas por 5 estudiantes (E1-E5) y su nivel NPTAI.

E1	S1	¿Qué diferencia hay entre lateralidad y lateralización? ¿Qué tipos de lateralidad hay? ¿Cuándo se define la lateralidad de una persona? ¿Qué factores influyen en la determinación de la lateralidad?	0
	S2	¿Cómo se explora la lateralidad? ¿Dónde se muestra?	0
	S3	¿Qué trastornos de lateralidad existen? ¿Qué es la lateralidad cruzada? ¿En qué procesos de aprendizaje influye la lateralidad?	0
E2	S1	McManus y Bryden demostraron que si los dos progenitores eran diestros, la posibilidad que el hijo fuera zurdo era del 9,5%; si los dos padres eran zurdos, la probabilidad era del 26%; si la madre era zurda había más probabilidad que el hijo también lo fuera que si era zurdo el padre. ¿Lo puedo comprobar?	4
E2	S1	¿Qué son las UPP? ¿Cómo se puede prevenir su aparición? ¿Cuál es la causa mayoritaria? ¿Qué mecanismos las causan?	0
	S1	¿Qué parte de la población es más afectada? ¿Afecta a todo el mundo por igual? ¿Cuáles son las partes del cuerpo más expuestas a sufrir una UPP?	0
	S2	¿Se pueden curar siempre, en todos los casos, las UPP siguiendo un tratamiento específico?	1
E3	S2	¿Las úlceras del mismo grado se curan en el mismo tiempo? Si no es así, ¿qué factores influyen?	4
	S3	¿Qué escalas se utilizan habitualmente para estimar el riesgo de sufrir UPP? ¿Hay diferencias significativas entre escalas? ¿Qué sucede si comparamos las evaluaciones con diversas escalas? ¿Cuál sería la escala más adecuada para prevenir las UPP?	4
	S1	¿Qué es el cáncer? ¿Qué provoca el cáncer?	0
E3	S1	¿Por qué actualmente hay más casos de cáncer?	0
	S2	¿Hay más casos de cáncer en unos países que en otros? ¿Hay diferencia en los tipos más frecuentes?	3
	S3	¿Se observa alguna diferencia en algunas familias en relación al riesgo de sufrir cáncer?	3
E4	S3	¿Qué frecuencias de cáncer se pueden identificar en los pedigríos de familias chinas y de familias catalanas? ¿Son habituales los mismos tipos de cáncer y, como en Cataluña, predominan los de pulmón, colon, mama y próstata? ¿Se observan diferencias?	4
	S1	¿Por qué los ácidos afectan el crecimiento de las plantas?	0
	S2	¿Cómo afectan los ácidos en el agua de riego el crecimiento de las plantas?	2
E5	S3	¿Cómo se modifican la germinación y el crecimiento de las plantas si el agua contiene ácidos?	4
	S1	¿Por qué hay variedades de plantas de cultivo que se adaptan mejor a determinadas zonas?	0
	S2	¿Cómo podemos saber qué variedad de judías es más adecuada para una zona determinada?	2
E5	S3	¿Se observan diferencias si las semillas de diversas variedades de judías son sometidas a estrés térmico y a estrés hídrico?	4

La Tabla 2 muestra el análisis de las características de las preguntas propuestas por los 36 estudiantes del grupo, y también los resultados de evaluación con la rúbrica. Se evidencia el solapamiento entre los resultados fruto de los dos criterios de análisis: todas las preguntas investigables sugieren la relación entre variables. Al comparar estos resultados con los que se obtienen de la evaluación con la rúbrica NPTAI se observa que no todas las preguntas investigables corresponden a los niveles 2, 3 o 4: cuatro han sido consideradas de nivel 1 porque sugerían una obtención de datos inabordable, como en la pregunta ‘¿Se pueden curar siempre, en todos los casos, las UPP siguiendo un tratamiento específico?’. Consideramos que el uso de la rúbrica mejora la precisión del análisis y por ello tiene un potencial mayor en la evaluación formativa. En la Tabla 2, sobre la rúbrica NPTAI, se indica la progresión en el refinamiento de la pregunta propuesta. Al comparar los resultados en S1 y en S3 se observa el incremento de las preguntas que presentan las características deseables para iniciar un trabajo de indagación científica, que en S3 suponen el 26,32% de nivel ‘3’ y el 44,73% de nivel ‘4’. El análisis también muestra que se ha progresado del 42,11% al 81,57% de preguntas que son investigables y que sugieren relación entre variables. Los estudiantes E1-E5 han alcanzado el 100% de nivel ‘4’ en la S3, en contraste con el conjunto del grupo que muestra un 44,73% en dicho nivel, diferencia que parece evidenciar la influencia de las pautas de asesoramiento de la profesora: su insistencia en comentarles la diferencia entre preguntas de información y preguntas investigables, y la orientación para que los estudiantes mejoraran el conocimiento teórico relacionado con el tema escogido para su trabajo y para que buscasen precedentes.

Tabla 2. Evolución de las características de las preguntas propuestas entre S1 y S3

CARACTERÍSTICAS DE LA PREGUNTA	S1 N=38	%	S3 N=38	%
La pregunta se puede responder analizando datos	16	42,11	31	81,57
La pregunta sugiere la relación entre diversas variables	16	42,11	31	81,57
EVALUACIÓN DE LA PREGUNTA CON LA RÚBRICA NPTAI	N	%	N	%
NPTAI 0	22	57,89	5	13,16
NPTAI 1	4	10,53	2	5,26
NPTAI 2	2	5,26	4	10,53
NPTAI 3	5	13,16	10	26,32
NPTAI 4	5	13,16	17	44,73
	38	100,00	38	100,00

Identificación de preguntas investigables en ejemplos de indagación

Se muestran fragmentos de seis diálogos estudiante-profesor, escogidos del conjunto de transcripciones porque se refieren a la habilidad de indagación de identificación de preguntas investigables.

La Figura 2 corresponde al diálogo generado por la propuesta del [Anexo 1](#), que describe el diseño experimental seguido para establecer el patrón de herencia de una patología. Sorprende la primera respuesta de una de las estudiantes, que es tautológica: se limita a proponer como pregunta una información que viene dada en el texto: *¿La patología salta generaciones?*, cuando la información inicial ya explica que la ceguera aparece en hijos de progenitores sanos. La respuesta de la segunda estudiante es una pregunta de información: *¿Por qué los hijos de padres de visión normal presentan ceguera?*, información que la estudiante debería conocer para abordar la indagación: en los caracteres de herencia recesiva, padres sin un carácter fenotípico pueden tener hijos que lo muestren. La primera intervención de la profesora precisa qué es una pregunta investigable. La segunda intervención tiene la finalidad de ayudarles a constatar que ya conocen la respuesta de las preguntas que han propuesto. El diálogo muestra que la profesora ayuda a aflorar los conocimientos necesarios para abordar la investigación puesto que es necesaria una referencia sólida a los conceptos implicados para poder formular preguntas que sugieran metodología: hay que realizar cruzamientos usando nomenclatura adecuada de los genotipos y repetir el proceso para el patrón AR y para el patrón XR. Esta referencia a los conceptos científicos asociados a la investigación les facilita la comprensión del diseño experimental, puesto que comprueban que en la F1 tan solo pueden aparecer individuos afectados si la patología sigue un patrón de herencia XR y solamente cuando la afectada es la madre, puesto que todos los F1 machos serán ciegos al recibir un cromosoma X con el alelo anormal. En cambio, si el afectado es el padre, ningún F1 presentará ceguera, aunque la F1 hembras serán portadoras. Y al realizar los cruzamientos sobre papel pueden comprobar que si el patrón hereditario es AR, no habrá diferencias dependiendo de si el afectado es el padre o es la madre, y ningún F1 tendrá ceguera aunque todos serán portadores.

Estudiante: Ah! Ahora entiendo por qué realizan cruzamientos con parejas en las que el afectado es el padre, y cruzamientos en los que la afectada es la madre!

Y a partir de la comprensión de los conceptos científicos asociados a la investigación, el estudiante es capaz de formular la pregunta investigable:

Estudiante: La pregunta investigable es si el patrón de herencia es autosómico recesivo o si es ligado al sexo...si en la F1 hay descendientes ciegos y de qué sexo, y si los resultados son diferentes según sea el padre o la madre el progenitor con ceguera.

En el diálogo generado a partir del ejercicio del [Anexo 2](#) (Figura 3) se evidencia que, incluso con una buena comprensión conceptual, la estudiante tiene dificultades para identificar la pregunta investigable: la estudiante entiende que la ósmosis es el mecanismo que hace

desaparecer los parásitos, pero le cuesta concretar que la pregunta que inspira el diseño experimental es cuál es la concentración salina óptima. Su propuesta inicial de pregunta es *¿Por qué los parásitos desaparecen al poner los peces en el agua con alta concentración salina?* Se trata de una pregunta de información que no puede ser respondida con los datos obtenidos en el experimento y que, además, los investigadores ya conocían al planificarlo.

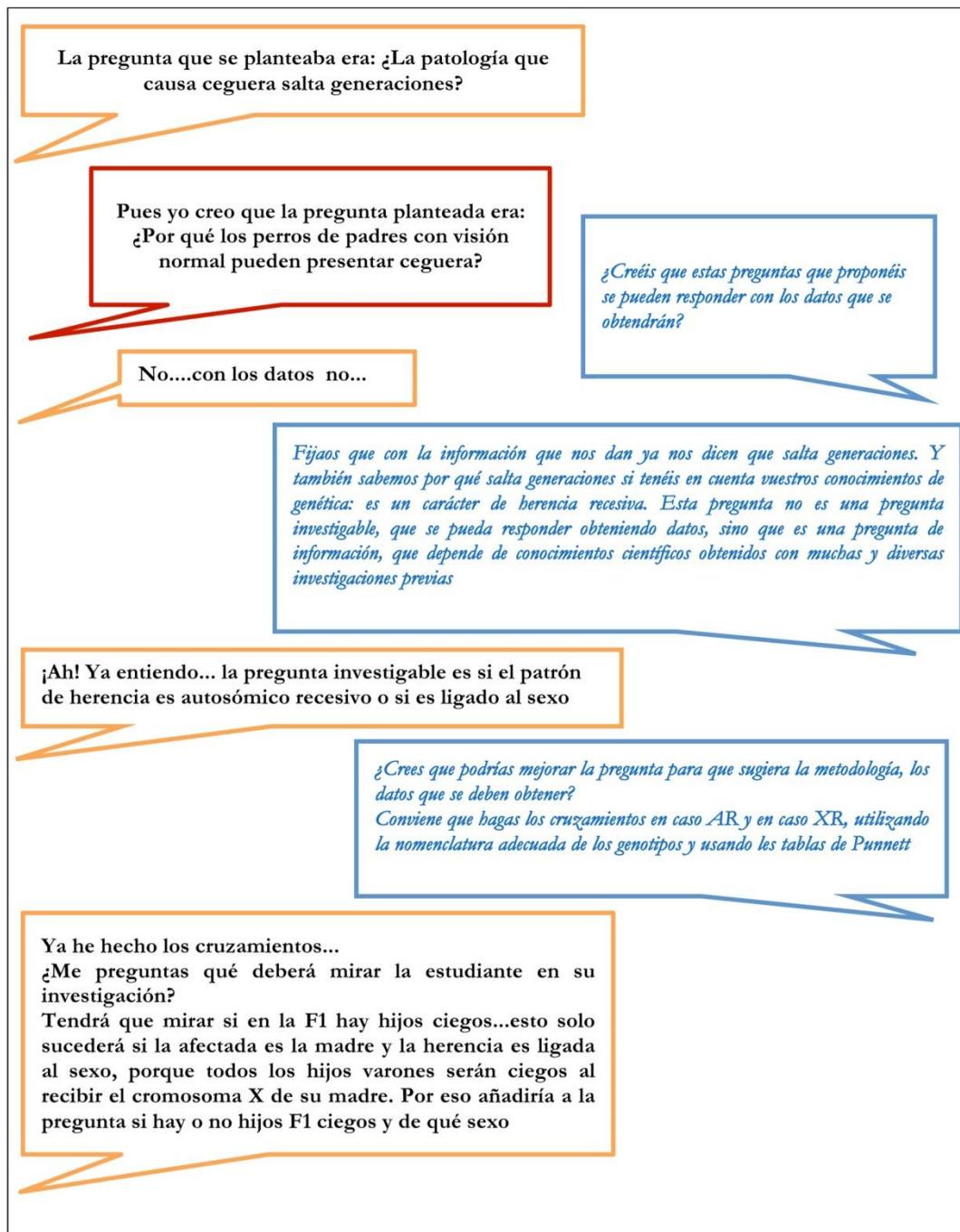


Figura 2. Diálogo entre estudiantes y *profesora* en relación al cuestionario ‘*¿AR o XR?*’ (Anexo 1)



Figura 3. Diálogo entre **estudiante** y **profesora** en relación al cuestionario ‘Osmosis y protozoos’ (Anexo 2)

A partir de la investigación descrita en el [Anexo 3](#), que tiene el objetivo de demostrar si el clavulánico es un inhibidor del enzima penicilinasa producido por bacterias que son resistentes a la penicilina, se generó el siguiente diálogo entre la profesora y los tres estudiantes, mostrando de nuevo la tendencia de proponer, de entrada, preguntas inabordables con la investigación (*¿Cómo podemos hacer más efectivos los productos farmacéuticos?*), o preguntas de información (*¿Por qué la presencia de clavulánico modifica la actividad de la penicilina?*), o bien preguntas tautológicas que ya pueden responderse con la información facilitada (*¿Por qué la penicilina a veces no es efectiva?*).

Profesora: La penicilina es un antibiótico utilizado contra muchas infecciones bacterianas, pero algunas bacterias producen enzima penicilinasa, que la inactiva. El gráfico del cuestionario representa la actividad enzimática de la penicilinasa y también las actividades de la penicilinasa a las mismas concentraciones de penicilina pero en presencia de ácido clavulánico ¿Qué pregunta se planteaban los investigadores que hicieron esta investigación?

Estudiante 1: La pregunta era ¿Cómo podemos hacer más efectivos los productos farmacéuticos?

Profesora: ¿Crees que con una sola investigación podemos obtener la respuesta a tu pregunta?

Estudiante 2: Yo creo que se preguntaban ¿Por qué la penicilina a veces no es efectiva?

Profesora: Si leemos con atención el cuestionario, ya tenemos la respuesta a tu pregunta...

Estudiante 2: Es verdad, ya nos dicen que hay bacterias que producen enzima penicilinasa...

Estudiante 3: Yo creo que se preguntaban cómo se puede mejorar el rendimiento de la penicilina sabiendo que hay bacterias que producen penicilinasa...querían saber por qué la presencia de clavulánico modifica la actividad de la penicilina

Profesora: ¿Te parece que con los datos del gráfico puedes saber por qué se modifica la actividad?

Estudiante 3: ...no podemos saber por qué, en todo caso podemos saber si se modifica...

Profesora: Os pido que me concretéis cuál era la pregunta investigable que se planteaban al hacer el experimento. Hemos comentado que una pregunta investigable es la que se puede responder recogiendo datos. Las preguntas que proponéis ¿se pueden responder con los datos del gráfico?

Estudiante 3: Ya veo que no... nosotros planteamos preguntas muy generales... como las preguntas teóricas de los exámenes...o preguntas que podríamos responder buscando información sobre la molécula de penicilinasa y la molécula d ácido clavulánico... y ver cómo interactúan...

Profesora: ¿Puedes concretar la pregunta si tienes en cuenta los datos del gráfico?

Estudiante 3: ...si miro los datos en la pregunta debería aparecer el ácido clavulánico...

Estudiante 2: La pregunta quizás sería cómo influirá el ácido clavulánico en la penicilinasa...

Profesora: ¿Recordáis qué factores pueden influir en la actividad enzimática? ¿Podéis mejorar la formulación de la pregunta pensando en alguno de estos factores?

Estudiante 3: Ah! Ya sé: hay inhibidores de la actividad enzimática... la pregunta de los investigadores era si el ácido clavulánico actuaría como inhibidor del enzima penicilinasa.

También en este caso se observa la influencia de los comentarios de la profesora en el progreso de los estudiantes hasta lograr concretar la pregunta investigable. Dicha intervención focaliza en la definición de qué es una pregunta investigable e insiste en el hecho que para identificarla hay que centrar la atención en qué podemos respondernos con los datos obtenidos.

El diálogo surgido al comentar la propuesta del [Anexo 4](#) muestra de nuevo una pregunta inicial tautológica, que puede responderse con la información del contexto de la investigación, y que no tienen relación con los datos que se pretende obtener del experimento: *Quería saber de dónde surgieron las mariposas negras*. La investigación se refiere al fenómeno del melanismo industrial, al incremento de mariposas de color oscuro en zonas industriales contaminadas, y en su descripción ya se comenta que siempre habían existido individuos oscuros en la población. La segunda pregunta formulada es una pregunta de información: *¿Por qué aumentaban las mariposas negras en las zonas contaminadas?*, a la que se responde con conocimiento teórico aludiendo a la selección natural. La profesora interviene para favorecer el progreso

hacia la identificación de la pregunta investigable:

Profesora: ¿Te has fijado en el diseño del experimento? ¿Recuerdas que una pregunta investigable es la que puede responderse con los datos obtenidos? ... ¿Puedes formular una pregunta que sugiera relación entre variables?

Después de escuchar estas sugerencias y comentarios, el estudiante concretó:

Estudiante: El investigador se preguntaba si en las zonas contaminadas los pájaros se comerían menos a las mariposas oscuras que a las blancas.

La pregunta así formulada sugiere la relación entre variables (el color de la mariposa y el riesgo de ser comida por los pájaros insectívoros), y puede ser respondida con los datos obtenidos al liberar en una zona contaminada el mismo número de mariposas marcadas claras y oscuras, y comprobar si el porcentaje de recapturación posterior era superior en las oscuras.

En la identificación de la pregunta investigable que inspiró la investigación de Griffith para demostrar la transformación bacteriana ([Anexo 5](#)), el estudiante propone de entrada una pregunta investigable. El diálogo con la profesora permite refinar la pregunta hasta formular la que inspiró el experimento descrito:

Estudiante: Creo que la pregunta era ¿Qué sucede si las bacterias de una cepa están en contacto con restos de bacterias muertas de la otra cepa? ¿Es posible que las bacterias R obtengan una cápsula por el hecho de estar en contacto con restos de bacterias S?

Profesora: ¿Crees que obtenían la cápsula de los restos capsulares de bacterias S muertas? ¿Por qué crees que cultivaba muestras de sangre? ¿Cómo se forman las colonias bacterianas?

Estudiante: Las colonias están formadas por millones de bacterias que se reproducen asexualmente a partir de una que se ha depositado en el medio de cultivo horas antes...

Profesora: Entonces, si el investigador sembraba la sangre que contenía bacterias, ¿qué crees que se preguntaba?

Estudiante: supongo que quería ver si de la sangre del grupo cuatro le salían colonias lisas... si le salían colonias S quería decir que las bacterias R vivas se habían modificado genéticamente...

Profesora: Así pues, ¿cuál era su pregunta al diseñar el experimento?

Estudiante: Se preguntaba si las bacterias podían obtener nuevas características genéticas a partir de moléculas del medio.

En el [Anexo 6](#) se muestra la referencia a un experimento relacionado con los beneficios de la dieta mediterránea, basado en una muestra de personas repartidas en dos grupos, uno al que se le suministró una dieta mediterránea y otro que recibió una dieta rica en grasas animales. Pasados tres meses, se determinaron indicadores de riesgo cardiovascular. El estudiante, inicialmente, afirma que la pregunta que se planteaban los investigadores era *¿Por qué la dieta mediterránea es más saludable?*, una vez más, una pregunta de información que no pudo ser respondida con los datos. El diálogo que sigue reproduce una evolución similar a la mostrada en los casos anteriores, que lleva finalmente a concretar una pregunta investigable y que evidencia el papel de los comentarios de la profesora para favorecer esta evolución:

Profesora: ¿Crees que los resultados de la investigación te permiten responder esta pregunta?

Estudiante: ¿No es esta la pregunta que les interesa?

Profesora: La cuestión no está en aquello que interesa saber, sino en ver qué se puede responder a partir de los datos que se obtienen de la investigación...

Estudiante: Ya entiendo... con esta investigación sabrán qué personas tienen el colesterol más bajo y entonces, si los que han seguido una dieta rica en grasas animales lo tienen más alto,

podrán suponer que con la dieta mediterránea disminuye el riesgo cardiovascular... Para explicar porque habría que realizar otros estudios, analizar los alimentos, determinar qué grasas contienen, comprobar qué lípidos hay en la sangre de las personas...

Profesora: ¿Puedes concretar la pregunta que nos permite responder esta investigación?

Estudiante: ¿Con una dieta mediterránea los valores de colesterol en sangre son inferiores? ¿Qué dieta aumenta más el riesgo cardiovascular la mediterránea o la rica en grasas?

En estos seis diálogos referidos al proceso de identificación de las preguntas investigables en ejemplos de investigaciones, los resultados muestran que la pregunta propuesta inicialmente por los estudiantes es casi siempre una pregunta de información, y que es necesario un proceso de reflexión para conseguir que formulen preguntas que puedan ser respondidas con los datos y/o para hacer aflorar los conceptos científicos relacionados.

Conclusiones e implicaciones didácticas

Repitiendo el proceso habitual en los modelos didácticos de transmisión de conocimiento en los que el docente habitualmente plantea preguntas no investigables a las que responde basándose en contenido (Domènech 2014), los estudiantes tienden a formular estas preguntas, tanto al inicio de un trabajo de indagación abierta, como cuando se les propone que identifiquen la pregunta que se planteaba una investigación que se describe. La comprensión conceptual de las ideas es, como afirman diversos autores (Furman, Barreto y Sanmartí 2006; OECD-PISA 2006; Windschitl, Thompson y Braaten 2008), una condición necesaria para formular preguntas investigables, pero los resultados nos permiten afirmar que no es suficiente: hace falta, además, el dominio de conceptos procedimentales, como la comprensión de que una pregunta investigable es aquella que puede responderse analizando datos, y la capacidad de diferenciar las preguntas investigables de las preguntas de información.

Recoger de manera ordenada las propuestas de preguntas de los estudiantes en los primeros pasos de un trabajo de indagación permite disponer de información útil en procesos de evaluación formativa. Su análisis puede ayudar a identificar las dificultades de los estudiantes y así orientar las intervenciones didácticas del profesorado para intentar superarlas. Estas intervenciones deben favorecer la reflexión sobre qué preguntas pueden ser respondidas con datos para así examinar si se trata de preguntas válidas para iniciar un proceso de indagación (Domènech 2014; Kelsey y Steel 2001), y también la reflexión relativa a qué necesitan saber para abordar la investigación que se proponen.

En base a los resultados de este estudio pensamos que conviene proponer en las aulas actividades para mejorar la capacidad de formular preguntas investigables, como una de las estrategias para promocionar que la indagación como objeto de aprendizaje sea una realidad en la didáctica de las ciencias. La realización previa de ejercicios similares a los ejemplos de investigaciones utilizados en este estudio puede ser útil para favorecer la adquisición de conocimiento conceptual asociado con los procesos de la ciencia: Gott y Roberts consideran que *“the procedural component of a curriculum consists of ideas (in effect, a sub-set of substantive ideas) that form a knowledge-base of evidence that can be explicitly taught and understood, in a similar way to the more traditional substantive elements in the curriculum.”* (Gott y Roberts 2008, p.11) (*el componente procedural del currículum consiste en ideas (de hecho, un subgrupo de ideas sustantivas) que forman un conocimiento básico de la evidencia que puede ser enseñado explícitamente y comprendido de manera similar a como lo son los elementos sustantivos más tradicionales del currículum*). Hace años, Friedler y Tamir (1986) propusieron la realización de actividades de ‘papel y lápiz’ para ayudar a los estudiantes a aprender a plantear preguntas investigables, usando ejercicios diseñados con esta finalidad. En este estudio se ha comprobado la utilidad de estas actividades para que los estudiantes

reflexionen sobre las características de las buenas preguntas investigables, como ya remarcan otros autores (Kelsey y Steel 2001; Sanmartí y Márquez 2012). Estos procesos permiten promocionar algunas de las habilidades propuestas en el PISA 2015 Framework (OECD 2013) dentro de la competencia de evaluar y diseñar indagación científica: “*Identify the question explored in a given scientific study and distinguish questions that are possible to investigate scientifically*” p.15 (*Identificar la pregunta investigada en un estudio científico dado y diferenciar preguntas que pueden ser investigadas científicamente*). Dichas habilidades deberían tener un papel central en la didáctica de las ciencias, porque la alfabetización científica requiere conocimiento en relación a los procesos propios de la indagación científica y no solo conocimiento de los conceptos y teorías de la ciencia. (OECD 2013). A la luz de las dificultades identificadas, pensamos que la realidad en nuestras aulas dista aún de dar a los procesos que utiliza la ciencia para obtener nuevo conocimiento el lugar que les correspondería junto a los conceptos, leyes y teorías.

Agradecimientos: Investigación realizada en el marco del grupo LIEC y financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad (referencia EDU2015-66643-C2-1-P). El Grupo LIEC forma parte del grupo de investigación consolidado LICEC (referencia 2014SGR1492)

Referencias bibliográficas

- Abell, S.K., Lederman, N. G. (2007) *Hadbook of Research on Science Education*. New York: Routledge.
- Bell R., Maeng, J., Peters, E. (2010) *Teaching About Scientific Inquiry and the Nature of Science. Task Force Report*. Virginia: Virginia Mathematics and Science Coalition
- Ben David, A., Zohar, A. (2009) Contribution of Meta-strategic Knowledge to Scientific Inquiry Learning. *International Journal of Science Education* 31(12), 1657–1682.
- Caamaño, A. (2012) ¿Cómo introducir la indagación en el aula? *Alambique. Didáctica de Las Ciencias* 70, 83–91.
- Domènech, J. (2014) Indagación en el aula mediante actividades manipulativas y mediadas por ordenador. *Alambique. Didáctica de Las Ciencias Experimentales* 76, 17–27.
- Duschl, R., Bybee, R. W. (2014). Planning and carrying out investigations: an entry to learning and to teacher professional development around NGSS science and engineering practices. *International Journal of STEM Education*, 1:12.
- Fay, E., Grove, N., Towns, M. H., Bretz, S. L. (2007) A rubric to characterize inquiry in the undergraduate chemistry laboratory. *Chemistry Education Research and Practice* 8(2), 212–219.
- Ferrés, C., Marbà, A., Sanmartí, N. (2015) Trabajos de indagación de los alumnos: instrumentos de evaluación e identificación de dificultades. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 12(1), 22–37.
- Friedler, Y., Tamir, P. (1986) Teaching basic concepts of scientific research to high school students. *Journal of Biological Education* 20(4), 263–269.
- Furman, M., Barreto, M. C., Sanmartí, N. (2006) El procés d'aprendre a plantear pregutes investigables. *Educación Química EduQ*, 14, 1–8.
- Grasser, A. C., Mc Mahen, C. L., Johnson, K. (1994) Questions asking and answering in autors. *Handbook of Psicolinguistics*. Academic Press Inc.
- Gott, R., Roberts, R. (2008) *Concepts of evidence and their role in open-ended practical investigations and scientific literacy; background to published papers*. Durham University: The School of

- Education.
- Kelsey, K., Steel, A. (2001) *The Truth about Science*. Arlington, Virginia: NSTA Press.
- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartos, S. A., Bartels, S. L., Antink, A., & Schwartz, R. S. (2014). Meaningful assessment of learners' understanding about scientific inquiry- The views about scientific inquiry (VASI) questionnaire. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(1), 65–83.
- Llewellynd, D. (2005) *Teaching High School Science Through Inquiry*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Lombard, F., Schneider, D. (2013) Good student questions in inquiry learning. *Journal of Biological Education*, 47(3), 166–174.
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlosen” [Inquiry as Scientific Problem Solving]. En *Theorien in der biologie-didaktischen Forschung [Theories in Biology Didactic]* (D. Krüger). Heidelberg: Springer.
- Möller, A., Mayer, J. (2010) Learning progressions in biological inquiry skills. En *Learning Progressions - German and Swiss Studies on Models of Competence Development* (pp. 17-20).
- National Research Council (1996) *National Science Education Standards*. Washington DC: The National Academies Press.
- National Research Council. (2012) *A framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington DC: The National Academies Press.
- Nowak, K. H., Nehring, A., Tiemann, R., Upmeier zu Belzen, A. (2013) Assessing students' abilities in processes of scientific inquiry in biology using a paper-and-pencil test. *Journal of Biological Education* 47(3), 182-188.
- OECD (2013) *PISA 2015 Draft Science Framework*. París: OECD.
- OECD-PISA (2006). Marco de la evaluación. *Conocimientos y habilidades en Ciencias, Matemáticas y Lectura* www.oecd.org/dataoecd/59/2/39732471.pdf
- Roca, M., Marquez, C., Sanmartí, N. (2013) Las preguntas de los alumnos : Una propuesta de análisis. *Enseñanza de Las Ciencias* 31(1), 95–114.
- Sanmartí, N., Márquez, C. (2012) Enseñar a plantear preguntas investigables. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* 70, 27–36.
- Simarro, C., Couso, D., Pintó, R. (2013) Indagació basada en la modelització: un marc per al treball pràctic. *Ciències* 25, 35–43.
- Swanborn, P. G. (2010) *Case study research: what, why and how*. California: Sage Publications.
- Tamir, P., García, M. (1992) Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de texto de ciencias utilizados en Cataluña. *Enseñanza de Las Ciencias* 10(1), 3–12.
- Tamir, P., Nussinovitz, R., Friedler, Y. (1982) The development and use of a Practical Test Assessment Inventory. *Journal of Biological Education* 16, 42–50.
- Windschitl, M., Thompson, J., Braaten, M. (2008) Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education* 92(5), 941–967.
- Zimmerman, C. (2005). *The development of scientific reasoning skills: What psychologists contribute to an*

- understanding of elementary science learning.* Washington, DC.
- Zoller, U., Tsaparlis, G. (1997) Higher and lower-order cognitive skills: The case of chemistry. *Research in Science Education* 27(1), 117–130.

Anexo 1: Cuestionario ‘¿AR o XR?’

Una estudiante de bachillerato busca tema para realizar su trabajo de investigación. Un veterinario le comenta que en una granja de cría se ha identificado una patología genética que afecta a los perros y les produce una ceguera progresiva. Han observado que salta generaciones, es decir, que nacen hijos con la patología que tienen tanto el padre como la madre de visión normal. La estudiante escoge este tema para su investigación y ha diseñado la metodología siguiente. ¿Qué pregunta se proponía responder esta estudiante?

- Ha localizado 5 machos y 5 hembras afectados de ceguera progresiva, de la misma raza y de edades
- También dispone de machos y hembras de la misma raza y edades similares pero que no padecen la patología ni tampoco la han mostrado ni sus antecesores ni su progenie.
- Ha podido ubicar en una misma instalación a todos los animales y alimentarlos por igual
- Determina realizar los siguientes cruces:
 - 5 cruces de Macho con ceguera progresiva x Hembra normal
 - 5 cruces de Macho normal x Hembra con ceguera progresiva
 - 5 cruces de Macho normal x Hembra normal
- Determina que anotará si la progenie de cada uno de estos cruces presenta o no presenta ceguera progresiva, especificando para cada hijo el sexo y la presencia o ausencia de la patología. Utilizará pruebas de genética molecular que le permitirán determinar la presencia o no de ceguera poco después del nacimiento.

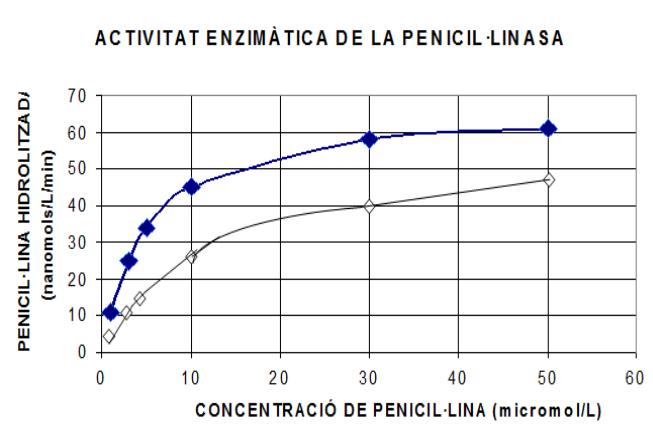
Anexo 2: Cuestionario ‘Osmosis y protozoosis’

Determinados peces de acuario de agua dulce sufren a menudo la denominada enfermedad del punto blanco, caracterizada por la presencia de pequeñas manchas blancas en las escamas y las aletas. Un análisis microscópico de las manchas evidencia la presencia de un protozoo parásito. Sumergiendo durante unos minutos a los peces en agua con una concentración salina superior a la del acuario, los parásitos desaparecen en la mayor parte de los casos. La tabla siguiente muestra los resultados de un experimento realizado con peces de agua dulce de una misma especie que padecían la enfermedad del punto blanco y eran sumergidos durante un minuto en soluciones salinas a diversas concentraciones. ¿Cuál es el problema o la pregunta investigable que se plantea en este experimento?

Concentración salina ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0
Nombre de parásitos en un pez	150	150	150	150	140	100	45	10	8	5	0	0

Anexo 3: Cuestionario ‘Penicilina y clavulánico’

La penicilina es un antibiótico utilizado contra muchas infecciones bacterianas, pero algunas bacterias producen un enzima, la penicilinasa, que la inactiva. El gráfico siguiente representa la actividad enzimática de la penicilinasa (línea azul) y también las actividades de la penicilinasa a las mismas concentraciones de penicilina pero en presencia de ácido clavulánico (línea gris). ¿Qué pregunta se planteaban los investigadores que hicieron esta investigación?



Anexo 4: Cuestionario ‘Melanismo industrial’

La mariposa del abedul, o *Biston betularia*, es una mariposa nocturna europea, muy bien conocida por los naturalistas ingleses del siglo diecinueve, quienes indicaban que esta mariposa era abundante sobre las cortezas y rocas cubiertas de líquenes. Sobre este fondo, la coloración blanquecina de esta mariposa la hace virtualmente invisible. Hasta 1.845, todos los especímenes recolectados de *Biston betularia* eran de tonalidades claras, aunque en este mismo año se captura un individuo negro de esta especie en el área industrial de Manchester. Con la incesante industrialización de Inglaterra, las partículas de hollín empezaron a contaminar las áreas boscosas de los alrededores de las ciudades industriales, con lo que provocaban la muerte de los líquenes y dejaban las cortezas de los árboles desnudas. En los distritos más contaminados, los troncos, e incluso las rocas, quedaron negros. Durante esta época, se observó que cada vez era más frecuente encontrar *Biston betularia* de color negro. La substitución de las mariposas claras por las oscuras fue muy rápida. En la década de 1.950 sólo unos cuantos individuos de la población tenían colores blanquecinos, y se encontraban muy alejados de los centros industriales. ¿De dónde surgieron los individuos negros de *Biston betularia*? Se demostró que el color negro era una forma o variedad que se encontraba en la población natural. Las formas negras siempre habían estado presentes, aunque en números muy reducidos. Pero, ¿por qué aumentó la población tan espectacularmente? A finales de los años 50 del siglo XX, H. B. D. Kettlewell, un médico, que además era aficionado a colecciónar mariposas, diseñó experimentos para comprobar sus hipótesis. En contra de muchos biólogos especializados en el estudio de insectos, que aseguraban que nunca habían observado la captura de *Biston betularia* por pájaros insectívoros, Kettlewell se dispuso a demostrar lo contrario. Predijo que si soltaba un mismo número de mariposas claras y oscuras en una zona contaminada, y luego las recapturaba, obtendría mayor número de mariposas oscuras que de claras. ¿Qué se preguntaba el médico del que nos habla el texto?

Anexo 5: Cuestionario ‘Transformación bacteriana’

Griffith, a principios del siglo XX, utilizó dos cepas de neumococo con las que infectó a ratones de laboratorio, una cepa -S (*smooth* = lisa) y otra cepa R (*rough* = rugosa). Las bacterias de la cepa S se cubren con una cápsula bacteriana de polisacáridos que las protege del sistema inmunitario del huésped, y causan una infección que produce la muerte, mientras que la cepa-R no dispone de cápsula protectora y es menos virulenta. Griffith dividió los ratones en cuatro grupos y les inyectó al primero bacterias S, al segundo bacterias R, al tercero, bacterias S que había esterilizado previamente para destruirlas, y al cuarto grupo les inyectó bacterias R vivas junto con bacterias S muertas por calor. Tomaba muestras de la sangre de los ratones y realizaba siembras para comprobar que cepa bacteriana crecía. Las bacterias presentan mecanismos de parasexualidad, que originan variabilidad por modificación de la información genética, pero sin que impliquen reproducción: conjugación, transformación y transducción. Uno de estos mecanismos de parasexualidad bacteriana fue demostrado con este experimento de Griffith. ¿Qué se preguntaba este investigador?

Anexo 6: Cuestionario ‘Dieta mediterránea’

En un congreso de cardiología se ha presentado un estudio basado en una muestra de 772 personas (de 55 a 80 años) repartidas en dos grupos. Al primero se le ha suministrado una dieta mediterránea enriquecida con aceite de oliva y al segundo se le ha proporcionado una dieta rica en grasas animales. A los tres meses, en los dos casos, se han medido una serie de indicadores que indican el riesgo cardiovascular, como por ejemplo la colesterolemia o concentración de colesterol en la sangre. El colesterol, insoluble en agua, es transportado por el plasma formando estructuras supramoleculares denominadas lipoproteínas. Las de baja densidad o LDL tienden a depositar colesterol en la pared de las arterias y aumentan el riesgo de patologías cardiovasculares. ¿Qué preguntas se planteaban con esta investigación?