

Lois Anxo Rodríguez Calvo



Una Cebra^{en} el agua

STEM en el aula

Proxecto financiado por

Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología FECYT

Promotores

Universidade de Santiago de Compostela e Inteligencia Visual S. L.

Equipo promotor

Laura Elena Sánchez Piñón. Responsable do proxecto USC; Mónica África Otero Obarrio. USC; Jorge Guerra Varela. Geneaqua S. L.; Noemí Rodríguez Rodríguez. Inteligencia Visual S. L.; e Juan Carlos Araujo. Inteligencia Visual S. L.

Equipo técnico

Sonia Gómez Fernández. USC; Pablo Cabezas Sáinz. USC; Elena Santidrián Yebra-Pimentel. USC

Asesoramento na implantación do proxecto en centros de educación secundaria

Lois Anxo Rodríguez Calvo. Profesor de educación secundaria

Colaboran

Geneaqua S. L. (empresa biotecnolóxica), Servizo de Audiovisuais da Deputación de Lugo (Fundación TIC) e Diputación de Lugo

© desta edición, Universidade de Santiago de Compostela, 2019

Deseño e maquetación

Paula Cantero

origamiestudio.com

Edita

Servizo de Publicacións e Intercambio Científico

Campus Vida – 15782 Santiago de Compostela

usc.es/publicacions

ISBN 978-84-17595-71-5

DOI: <https://dx.doi.org/10.15304/9788417595715>



Esta obra atópase baixo unha licenza internacional Creative Commons BY-NC-ND 4.0. Calquera forma de reprodución, distribución, comunicación pública ou transformación desta obra non incluída na licenza Creative Commons BY-NC-ND 4.0 só pode ser realizada coa autorización expresa dos titulares, salvo excepción prevista pola lei. Pode acceder Vde. ao texto completo da licenza nesta ligazón: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.gl>



Esta obra se encuentra bajo una licencia internacional Creative Commons BY-NC-ND 4.0. Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra no incluida en la licencia Creative Commons BY-NC-ND 4.0 solo puede ser realizada con la autorización expresa de los titulares, salvo excepción prevista por la ley. Puede Vd. acceder al texto completo de la licencia en este enlace: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



This work is licensed under a Creative Commons BY NC ND 4.0 international license. Any form of reproduction, distribution, public communication or transformation of this work not included under the Creative Commons BY-NC-ND 4.0 license can only be carried out with the express authorization of the proprietors, save where otherwise provided by the law. You can access the full text of the license at <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>

Índice

1. Presentación
2. Contexto, justificación e intenciones
3. Origen y desarrollo del proyecto
4. Proyecto, competencias clave, currículum y metodología
5. Montaje y mantenimiento del acuario: técnicas básicas para el crecimiento y reproducción del pez cebra
6. Actividades (para el profesorado y para el alumnado)
7. Recursos de apoyo: el pez cebra en investigación
8. Bibliografía y webgrafía



1

Presentación



El proyecto *Una cebra en el agua*, financiado por la FECYT, es una iniciativa del grupo ACUIGEN del Departamento de Genética de la Facultad de Veterinaria de Lugo (Universidad de Santiago de Compostela) que se desarrolló en 114 centros de secundaria de Galicia.

El objetivo principal era fomentar vocaciones científicas, trasladando a las aulas de educación secundaria el desarrollo de un trabajo de investigación en un contexto real utilizando el pez cebra, *Danio rerio*, como modelo biológico.



Imagen 1.1.
Embrión pez cebra

El hecho de trabajar como investigadores realizando las prácticas habituales de la ciencia real en el aula, supone un potencial didáctico incomparable para el fomento de vocaciones científicas y, por supuesto, para el aprendizaje de cuestiones de carácter científico en un marco real. La presencia de seres vivos en el aula supone, además, un elemento motivador extraordinario, tal y como constatamos a lo largo de estos años de aplicación del trabajo en el aula.

El proyecto se basa en la utilización del pez cebra como modelo y supone realizar en las aulas de secundaria de ciencias la fase inicial de investigación con el pez cebra desde un punto de vista eminentemente práctico.

La fase experimental consiste en la reproducción del pez cebra dentro un acuario en el laboratorio y en la obtención de embriones para hacer el seguimiento de su desarrollo en los primeros días de vida, así como controlar los distintos parámetros físico-químicos del acuario para lograr el crecimiento y reproducción del pez.





Imagen 1.2. • Peces cebra





Imagen 1.3.
Pez cebra en investigación

En este libro se recogen todos los elementos de diseño del proyecto, los resultados conseguidos y su implementación en el aula, con el objetivo de que esta exitosa práctica de educación STEM pueda ser aplicada por el profesorado de ciencias en los distintos niveles educativos. Se trata, pues, de una publicación en la que prima la transferencia y divulgación encaminadas a la educación para la cultura científica del alumnado de secundaria en el marco de la educación STEM. En los siguientes capítulos se describen todos los elementos necesarios para implementar en el aula esta propuesta

didáctica. Este trabajo, fruto de tres años de experiencia, busca dar respuesta a todas las cuestiones necesarias para el éxito del proyecto.

La experiencia fue objeto de una publicación en la revista internacional *Zebrafish*, Volumen 13, Número 14, 2016.

DOI: 10.1089/zeb.2015.1178

El siguiente enlace corresponde a un vídeo de presentación del proyecto.

▶ <https://youtu.be/T6AgfXdVou0>



2

Contexto, justificación e intenciones



En los últimos años, distintos organismos internacionales, incluidos la Unión Europea y el Estado español, están mostrando una creciente preocupación por el desinterés del alumnado en relación a las profesiones de carácter científico. Con la finalidad de potenciar el papel de la ciencia en la sociedad y el fomento de vocaciones científicas, surgen a nivel internacional distintas iniciativas que se enmarcan en lo que se conoce como STEM (acrónimo de Science, Technology, Engineering and Mathematics).

En España la FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología) es uno de los organismos encargado de impulsar estas iniciativas. *Una cebra en el agua* es uno de los trabajos financiados por este organismo que pretende, por una parte, mostrar a la sociedad en general, y al alumnado de secundaria en particular, el conocimiento del trabajo científico y por otra, fomentar vocaciones científicas.

El pez cebra (*Danio rerio*), se ha convertido en un organismo modelo para experimentación en diversas áreas como la biomedicina, la acuicultura y la alimentación. Junto con el ratón (*Mus*

musculus), es uno de los organismos modelo por excelencia dentro de los vertebrados. Resulta una especie de fácil manejo, descendencias numerosas y tiempo generacional corto. Su genética es además bien conocida, disponiéndose de numerosos mutantes y abundantes datos genómicos (recientemente se ha completado la secuenciación de su genoma) que revelan un alto grado de similitud genética con humanos.



Imagen 2.1. Pez cebra como modelo

La posibilidad de utilizar en el aula especies animales que permitan poner en práctica de



manera sencilla el método científico y conocer, al mismo tiempo, nuevas tecnologías biológicas para experimentación, supone un innovador acercamiento al mundo de la investigación con el propósito de incentivar vocaciones científicas en los estudiantes de Educación Secundaria y Bachillerato.





3

Origen y desarrollo del proyecto



El proyecto *Una cebra en el agua* se desarrolló en Galicia durante tres cursos académicos (2012-2015), por iniciativa del grupo ACUIGEN del Departamento de Genética de la Universidad de Santiago de Compostela (Facultad de Veterinaria, campus de Lugo) y contó con la participación activa de 114 centros educativos durante tres cursos académicos, con un alcance cercano a los 3000 alumnos.

Su financiación fue posible gracias a la FECYT y a la colaboración de la USC, la Diputación de Lugo, la Fundación TIC de Lugo, educaBarrié, Geneaqua e Inteligencia Visual.



Imagen 3.1. • Laboratorio Pez cebra ACUIGEN

Su semejanza genética con el hombre y la capacidad regenerativa del pez cebra son los motivos por los cuales numerosos laboratorios dedicados a la investigación en biomedicina han seleccionado a este curioso vertebrado para desarrollar investigaciones en los siguientes campos:

- Leyes de la herencia.
- Transgénesis.
- Xenotrasplantes.
- Senescencia (envejecimiento).
- Apoptosis (muerte celular).
- Regeneración.



Imagen 3.2. • Acuario





Imagen 3.3. • El pez cebra se utiliza en investigación biomédica



Las herramientas clave para desarrollar el proyecto fueron un **acuario en el aula** y un **simulador pedagógico** (laboratorio virtual). Además, se implementó un taller de formación al profesorado de secundaria impartido por profesores investigadores del Departamento de Genética del grupo ACUIGEN (Universidad de Santiago de Compostela). En este taller los profesores adquirieron las habilidades necesarias para llevar a cabo esta propuesta didáctica.

La finalidad del **acuario en el aula** era:

- Seguimiento del ciclo biológico del pez cebra: embrión-larva-adulto (duración: tres meses).
- Cuidados y mantenimiento del acuario.
- Conocimiento del ciclo del nitrógeno.
- Establecimiento de las condiciones para la aparición de un ecosistema (algas, protozoos y alevines de peces).
- Construcción de cadenas y niveles tróficos.
- Observación microscópica de microorganismos.

El **simulador o laboratorio virtual**

Desde un inicio se concibió la plataforma educativa de *Una cebra en el agua* como un me-

dio para la consolidación del conocimiento teórico-científico y la comunicación entre los centros educativos y todos los agentes participantes en la iniciativa.



Imagen 3.4. • Simulador

El simulador virtual permitió la recreación de pruebas en laboratorio y fue la vía de acceso al conocimiento de diferentes procesos científicos y un acercamiento práctico al estudio de las leyes de la herencia, la transgénesis, la senescencia, la apoptosis y la regeneración celular.

Además, se crearon funcionalidades como un sistema de administración de los contenidos

propios de cada centro que afectaron tanto a la superadministración de la plataforma como a la administración de los profesores y un espacio en la zona pública de laboratorio: un lugar en el que cada centro educativo pudiese exponer todos los contenidos propios generados durante el proyecto y mostrar las fases y procesos a seguir como si de verdaderos proyectos científicos se tratase. También se ofrecía la opción de poder visualizar este contenido de modo cronológico, a modo de publicaciones en un blog científico.

Taller de formación del profesorado



En esta acción se llevaron a cabo las siguientes actividades:

1. Formación teórico práctica para el profesorado en el mantenimiento y control del ciclo biológico del pez cebrá, así como una demostración de la técnica de microinyección, xenotrasplantes, senescencia, apoptosis y regeneración.
2. Formación para el manejo de la herramienta pedagógica.



Imagen 3.6. • Formación profesorado

Se diseñó un **plan de formación** común para el equipo docente multidisciplinar implicado en el proyecto con la finalidad de facilitar la coordinación y el acompañamiento para su desarrollo en el aula.

Se pretendía familiarizar al profesorado en la herramienta pedagógica, explicando su esencia y objetivos que se querían lograr a través de su empleo. Así mismo, se puso a disposición del profesorado un tutorial de apoyo al manejo de la herramienta pedagógica que se podría consultar en la zona de administración.



El fin que se perseguía con la formación era permitir a los profesores controlar desde el primer momento la herramienta, posibilitando el uso de todas las utilidades y aplicaciones que en ella se ofrecen y lograr que transmitan estos conocimientos y su esencia a su alumnado.

En este libro nos centraremos en la transferencia de todo lo relativo al acuario en el aula, dado que se puede abordar de una manera autónoma, sencilla y con escasa inversión por el profesorado interesado en su implementación en el aula.



4

Proyecto, competencias clave, currículum y metodología



Una de las reticencias del profesorado de ciencias a la hora de llevar al aula proyectos de investigación que impliquen metodologías que vayan más allá del libro de texto es la relación de estos proyectos con el currículum. Por ello consideramos este capítulo muy importante.

En un principio, el proyecto fue concebido para su desarrollo fundamentalmente en la materia de Biología y Geología de 4.º de ESO, aunque perfectamente podría encajar en 1.º de ESO o en 1.º de bachillerato en las materias de Biología y Geología o Cultura científica.

Si pretendemos conseguir unos aprendizajes significativos, la enseñanza de las ciencias debe ir más allá de la mera transmisión de conocimientos y tiene que estar basada en contextos reales de aprendizaje conectados con el día a día y la realidad científica. En la siguiente tabla aparece la selección de los elementos curriculares de 4.º de ESO en la materia de Biología y Geología que se abordan en el proyecto.

Como se puede ver al analizar la tabla, la relación del proyecto de investigación con los estándares de aprendizaje comprende distintos bloques

de contenidos y, sobre todo, su realización es una manera excelente para abordar el bloque 4. Por supuesto, la selección de la relación con los elementos curriculares se puede personalizar para cada caso concreto y en las distintas materias. Aunque en un principio el proyecto se plantea para la educación secundaria, no resultaría difícil realizar su adaptación a los últimos cursos de educación primaria.

SELECCIÓN DE ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE BIOLÓGICA Y GEOLOGÍA 4.º DE ESO (CURRÍCULO DE GALICIA) Y TAREAS RELACIONADAS CON ELLOS	
ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE	TAREAS RELACIONADAS
Bloque 1. La evolución de la vida	
BXB1.1.2. Identifica tipos de células utilizando el microscopio óptico, microfotografías y esquemas gráficos.	Observación al microscopio de huevos embriones y microorganismos del acuario.
BXB1.4.1. Reconoce las fases de la mitosis y meiosis, diferencia ambos procesos y distingue su significado biológico.	Observación del desarrollo embrionario y el proceso de crecimiento y diferenciación celular.



ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE	TAREAS RELACIONADAS
Bloque 1. La evolución de la vida	
BXB1.8.1. Reconoce y explica en qué consisten las mutaciones y sus tipos.	Análisis y comentario de artículo científico sobre el pez cebra en investigación.
BXB1.12.1. Diferencia técnicas de trabajo en ingeniería genética.	Tareas de la plataforma virtual.
BXB1.14.1. Analiza las implicaciones éticas, sociales y ambientales de la ingeniería genética.	Puesta en común en gran grupo del uso de animales en investigación.
BXB1.15.1. Interpreta críticamente las consecuencias de los avances actuales en el campo de la biotecnología.	Análisis y comentario de artículo científico sobre el pez cebra en investigación.
Bloque 3. Ecología y medio ambiente	
BXB3.1.2. Analiza las relaciones entre biotopo y biocenosis y evalúa su importancia para mantener el equilibrio del ecosistema.	Establecimiento y seguimiento de las condiciones físico químicas en el acuario para el crecimiento y reproducción del pez cebra.

ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE	TAREAS RELACIONADAS
Bloque 3. Ecología y medio ambiente	
BXB3.3.1. Reconoce los factores ambientales que condicionan el desarrollo de los seres vivos en un ambiente determinado y valora su importancia y la conservación de este.	El ciclo del nitrógeno en el acuario. Registro e interpretación de las concentraciones de amonio, nitritos y nitratos. El pH del acuario.
BXB3.5.1. Reconoce los niveles tróficos y sus relaciones en el ecosistema y valora su importancia para la vida en general y el mantenimiento de esta.	Elaboración de esquema de cadena y relaciones tróficas en el acuario.
Bloque 4. Proyecto de investigación	
BXB4.1.1. Integra y aplica las destrezas propias de los métodos de la ciencia.	Búsqueda de información, realización de ensayos y pruebas.
BXB4.2.1. Utiliza argumentos que justifiquen las hipótesis que propone.	Realización de informe.
BXB4.3.1. Utiliza fuentes de información, apoyándose en las TIC, para la elaboración y la presentación de sus investigaciones.	Búsqueda guiada de información sobre la investigación con el pez cebra.

ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE	TAREAS RELACIONADAS
Bloque 4. Proyecto de investigación	
BXB4.4.1. Participa, valora y respeta el trabajo individual y en grupo.	Desarrollo del proyecto.
BXB4.5.1. Diseña pequeños trabajos de investigación sobre animales y o plantas, los ecosistemas de su entorno, o la alimentación y nutrición humana para su presentación y defensa en el aula.	Desarrollo del proyecto. Redacción y presentación del mismo.
BXB4.5.2. Expresa con precisión y coherencia las conclusiones de tus investigaciones, tanto verbalmente como por escrito.	Presentación del proyecto.

La introducción de las competencias clave en el contexto educativo supone una enseñanza basada en la conexión con el mundo real y no tanto en la memorización y adquisición de contenidos descontextualizados.

Una cebra en el agua constituye una herramienta muy potente para el trabajo por competencias en el aula, desde la competencia matemático-científico-tecnológica, pasando por la competencia en aprender a aprender, sentido de la iniciativa y espíritu emprendedor, la competencia digital, la comunicación lingüística, conciencia y expresión culturales y la competencia social y cívica. Ese «saber hacer» que propugnan las competencias clave se ve materializado en el desarrollo del proyecto, ya que el alumnado debe resolver problemas y tareas en un contexto real de aprendizaje, lo que implica poner en juego las distintas competencias clave.

En cuanto a la manera de plantear el proyecto en el aula tenemos distintas posibilidades:

Proyecto de investigación. En el caso de que nos decantemos por la realización de un proyecto de investigación completo, *Una cebra en el agua* nos servirá para desarrollar totalmente el bloque 4 de contenidos y también para abordar contenidos de otros bloques, tal y como vimos en el apartado anterior. Es importante transmitir al alumnado que se trata



de un proyecto de investigación real, y como tal, debemos mostrarlo con una planificación completa y un objetivo final o meta en forma de «producto final».

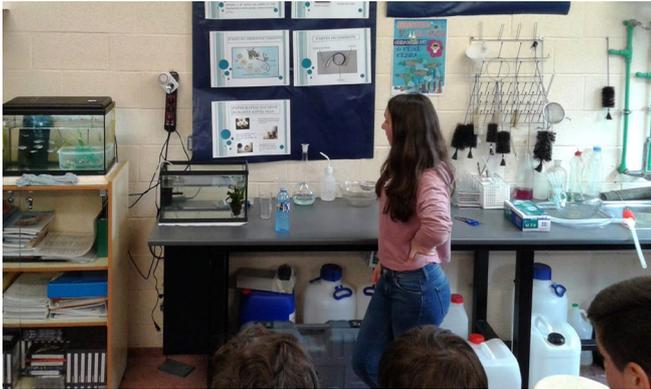


Imagen 4.1. • Alumna presentando el proyecto durante el día de la ciencia

El desarrollo del proyecto en el CPI de San Sadurniño con alumnado de 4.º de la ESO se realizó bajo este formato, y el producto final a elaborar por el alumnado consistía en un informe completo del proyecto (a modo de artículo científico) y en la exposición del mismo

en el día de la ciencia al resto del alumnado del centro, para lo que elaboraron una presentación digital con la exposición de todos los elementos del proyecto.

En el canal de Youtube *Una cebra en el agua* disponemos de ejemplos de materiales elaborados por el alumnado.

▶ youtube.com/user/Unacebraenelagua/videos

Actividades de indagación. El hecho de desarrollar un proyecto de este tipo supone un esfuerzo para el profesorado que se puede aprovechar no solo en un curso, sino en varios y en distintos niveles educativos. Si desarrollamos el proyecto completo en un curso de 4.º de ESO podemos plantear en otros niveles educativos pequeñas tareas o actividades de indagación de manera «aislada» pero contextualizadas en el proyecto.

Volviendo al ejemplo del desarrollo del proyecto en el CPI de San Sadurniño, en 1.º de ESO se realizaron actividades de indagación relacionadas con la biología del pez cebrá y la observación microscópica.





Imagen 4.2. • Alumnado participando en el proyecto

Interdisciplinariedad. La interdisciplinariedad y transversalidad fueron las características del proyecto que se quisieron potenciar desde el principio; así, existía la posibilidad de la participación de otras disciplinas como, por ejemplo, lengua inglesa, para la adquisición de vocabulario científico y expresión oral y escrita, así como la comprensión oral y escrita de cuestiones de carácter científico en inglés.

Resolución de problemas reales. Una de las características que presentan los proyectos de investigación en contextos reales de

aprendizaje es que, al igual que en la vida real, surgen problemas o imprevistos que hay que resolver. Los problemas reales son oportunidades para que el alumnado desarrolle distintas competencias y busque soluciones.

A modo de ejemplo, de nuevo utilizando un caso del CPI de San Sadurni, para resolver el problema de la alimentación en fin de semana el alumnado buscó información sobre alimentadores automáticos caseros y fabricaron uno en clase de tecnología utilizando el mecanismo de un reloj y un vaso de plástico.



Imagen 4.3. • Alumna mostrando parte del alimentador automático fabricado por el alumnado



5

Montaje y mantenimiento del acuario: técnicas básicas para el crecimiento y reproducción del pez cebra



Como ya se apuntó con anterioridad, el pez cebra se utiliza mucho en investigación en los últimos tiempos, dado que entre sus características están la facilidad de reproducción en cautividad y el bajo coste económico de este proceso; no obstante, que el crecimiento y la reproducción de *Danio rerio* en cautividad resulten sencillos, no quiere decir que no sean necesarias unas pautas básicas para tener éxito.

En el siguiente vídeo disponemos de una sesión formativa para el profesorado del proyecto original, en el que se describe todo lo relacionado con el montaje y cuidado del acuario.

▶ youtu.be/_IW1_4IJusk

Los materiales

Para reproducir las condiciones del ecosistema natural en el que vive el pez cebra, necesitaremos un acuario completo que deberá incluir:

- Acuario de 30 o 40 litros.
- Filtro estándar de cartucho.
- Sistema de iluminación.



Imagen 5.1. • Elementos del acuario

- Termo-calentador.
- Termómetro.
- Alimentador automático (opcional).
- Enchufe programador (para establecer el fotoperíodo de luz).
- Acondicionador de agua.
- Tiras indicadoras de control de parámetros del agua: pH, nitratos, amonio... (en la actualidad existen tiras indicadoras que recogen en una sola tira la medida de distintos parámetros).

- Aditivo con complejo biológico (bacterias nitrificantes).
- Alimento para peces tropicales.
- 8 hembras de pez cebra *Danio rerio* y 4 machos (ejemplares maduros).

Montaje del acuario

El montaje del acuario deberá realizarse con el alumnado y este momento podría ser idóneo para ir introduciendo conceptos que se trabajarán a lo largo del desarrollo del proyecto. Por otro lado, también se puede aprovechar este proceso para proponer al alumnado una búsqueda de información sobre el montaje de acuarios y las condiciones necesarias para el crecimiento y éxito reproductivo de esta especie.

Hoy en día, en cualquier centro comercial o tiendas especializadas en animales se pueden encontrar kits completos que incluyen acuario, iluminación y filtros a un coste muy asequible y que cumplirán perfectamente con los requisitos necesarios.

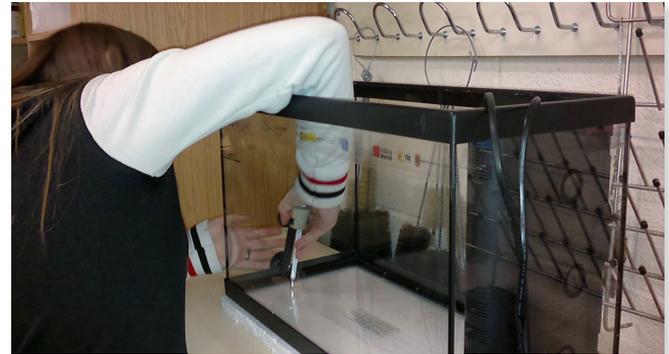


Imagen 5.2. • Alumna montando el acuario

Lo primero que se necesita es buscar una ubicación adecuada para nuestro acuario. Si se dispone de laboratorio, este puede ser un espacio ideal para su colocación. Debemos asegurarnos de que el lugar en el que se sitúe no esté cerca de una ventana con excesiva claridad y de que sea un sitio tranquilo. Precisaremos un enchufe cerca y tendremos en cuenta que el soporte (mesa o estantería) sobre el que lo coloquemos va a necesitar aguantar un peso considerable.

El montaje empieza por la colocación adecuada de filtro y termocalentador y el llenado del acuario.



Dado que se trata de un acuario de investigación, no vamos a poner ni arena ni piedras ni adornos en el fondo ya que dificultarían la recogida de los huevos de los peces, como explicaremos más adelante.

La instalación del filtro la realizaremos siguiendo las instrucciones suministradas en el



Imagen 5.3. • Filtro y calentador

mismo. Si se trata de un filtro compacto de varias etapas de filtrado deberemos prestar especial atención al orden de colocación de los filtros tal y como se indica en el prospecto.

El montaje del termocalentador lo realizaremos atendiendo a las indicaciones del fabricante; nunca se debe enchufar el termocalentador fuera del agua ya que se podría dañar el dispositivo; lo adecuado es colocarlo y, después del llenado del acuario, enchufarlo; en un principio, la temperatura del agua será en torno a los 22°.

El agua

El agua del acuario deberá ser agua desclorada, para lo cual dispondremos de un acondicionador de agua que elimine tanto el cloro como otros compuestos tóxicos para los peces. Recomendamos disponer de garrafas (envases reutilizados) de 5 u 8 litros, ya que nos permitirán realizar el llenado de una manera sencilla. Si fuesen de más volumen, su peso nos dificultaría la tarea, al ser menos manejables por el alumnado.



En cada garrafa de agua debemos añadir la cantidad requerida de aditivo para la decloración.

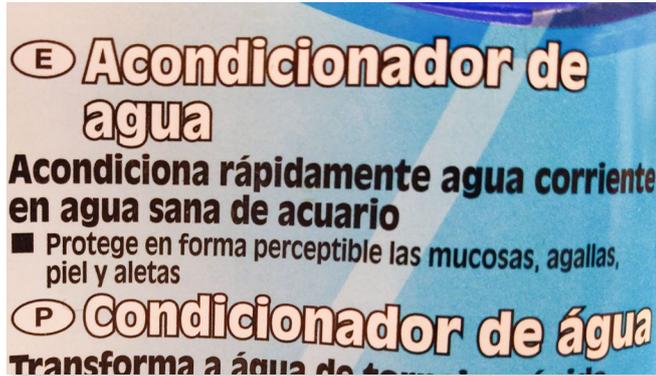


Imagen 5.4. • Acondicionador de agua

En las instrucciones están indicadas las cantidades por 20 o 50 litros, por lo que debemos calcular lo que correspondería para cada garrafa que utilizemos. Este puede resultar un momento propicio para que el alumnado ponga en juego su competencia matemática realizando los cálculos pertinentes.

También puede ser una excelente ocasión para que el alumnado calcule el volumen de agua necesario para el llenado del acuario (antes debe-

mos tener la precaución de retirar el embalaje del mismo donde se indica su capacidad). Dado que se trata de un prisma rectangular, tendrán que medir sus dimensiones y después multiplicar las tres dimensiones (alto x largo x ancho) del mismo. A continuación, deberán hacer el cambio de unidades para transformarlo en litros de capacidad. De este modo, estamos trabajando la competencia matemática en un contexto real de aprendizaje y de una manera integrada y transversal.

Una vez realizado el llenado del acuario, pondremos el filtro en funcionamiento y comprobaremos que todo funciona correctamente.

Al día siguiente, podemos hacer una medición de parámetros: pH, amonio, nitratos, fosfatos, dureza... con las tiras indicadoras. Es importante llevar el registro de los datos recogidos a fin de poder trabajar con ellos después (en el apartado de actividades desarrollaremos esta cuestión). También es el momento de añadir el complejo biológico. Este complejo biológico está compuesto por distintos tipos de bacterias que intervienen en el ciclo del nitrógeno y facilitarán que este ciclo natural se realice con mayor celeridad y eficacia.



Durante la primera semana, recordamos que aún sin peces en el acuario, controlaremos diariamente los parámetros del agua. Si todo va bien,



Imagen 5.5.
Complejo biológico

a los 7-8 días podemos introducir 2 o 3 peces, lo que facilitará que el agua se vaya acondicionando poco a poco por procesos naturales. Si introducimos todos los peces al mismo tiempo corremos el riesgo de que los procesos biológicos no sean capaces de asimilar tanta carga orgánica en un corto período de tiempo y comiencen los problemas. Recomendamos dejar pasar 2 o 3 semanas

antes de introducir el resto de los peces.

Una vez que nuestro acuario esté funcionando, deberemos realizar cambios parciales de agua a fin de eliminar posibles sustancias tóxicas que se puedan acumular. Estas renovaciones parciales deben ser de aproximadamente $\frac{1}{3}$ del volumen semanalmente. Para hacerlo, trataremos previamente el agua con el acondicionador e intentaremos que esté a temperatura ambiente para que no haya mucho contraste térmico con el resto de agua del acuario.

Es preciso recordar que en el medio natural del pez cebra la renovación de agua puede llegar a ser constante, así que en nuestro ecosistema artificial lo supliremos con el sistema de filtrado y recirculación de agua y con las renovaciones parciales de la misma.

La alimentación

La mayoría del alumnado tiene el preconcepto de que en alimentación de peces «cuanto más, mejor», y este puede ser uno de los grandes problemas que pueden surgir en el acuario. Para reproducirse, los peces deben tener las condiciones

adecuadas de temperatura, fotoperiodo y estar bien alimentados, así que deberemos alimentarlos 1 o 2 veces al día si queremos tener éxito en la reproducción, pero no debemos suministrar mayor cantidad de alimento del que los peces puedan comer, ya que sino esa materia orgánica se acumulará en el acuario pudiendo llegar a convertirse en compuestos tóxicos para los peces.

Para dar de comer a los peces, cogemos un pequeño pellizco de alimento y lo echaremos en el acuario. Los peces acudirán a comer voraz-



Imagen 5.6. • Alimentación de los peces en pequeñas cantidades

mente. Cuando acaben esa pequeña cantidad, se les echa de nuevo alimento y así sucesivamente 3 o 4 veces. Los peces comen con mucha rapidez, por lo tanto este proceso puede llevar 2 o 3 minutos. Siempre nos debemos asegurar de que ingieran todo el alimento suministrado. Recordamos de nuevo que nunca debe quedar alimento en el acuario, por lo tanto, se deben echar siempre pequeñas cantidades.

Dado que el proyecto se va a desarrollar en el entorno escolar, debemos tener en cuenta los horarios lectivos en los que podemos alimentar de una manera correcta a los peces. Lo idóneo sería hacerlo 2 o 3 veces al día, lo suficientemente espaciadas en el tiempo. Las horas de entrada y salida del centro pueden ser las más adecuadas para hacerlo. Con el fin de repartir responsabilidades entre el alumnado, os recomiendo establecer un sistema de turnos semanales o quincenales para realizar este proceso. Lo que suele dar buen resultado es disponer de 2 alumnos en cada turno. El primer día deberá ser el profesorado el que supervise que la alimentación no sea excesiva ya que, como indicamos con anterioridad, el alumnado tiende a





Imagen 5.7. • *Artemia salina* • Fotografía de Hans Hillewaert. Licencia Creative Commons (CC)



sobrealimentar a los peces y esto puede ser muy perjudicial para el funcionamiento de nuestro acuario.

Aunque el alimento con escamas u otro tipo de alimento compuesto puede ser suficiente para el período de reproducción, también podemos utilizar un aporte extra a base de artemia salina o manto de mejillón desmenuzado. En el caso de la artemia salina tenemos blisters comerciales de artemia congelada que cumplirán perfectamente nuestras necesidades de una manera rápida y sencilla; con el mejillón sucede lo mismo, disponemos del producto congelado perfectamente utilizable. Al igual que en el caso del alimento seco se debe tener cuidado con las cantidades.

En el acuario, los peces pueden sobrevivir perfectamente hasta 3 días sin comer, por lo tanto, durante el fin de semana no sería necesario alimentarlos, pero si lo que queremos es que se reproduzcan, debemos mantenerlos lo mejor nutridos posible, con lo cual es recomendable buscar una alternativa para realizar durante el fin de semana. Existen dos sistemas a nivel comercial para solucionar este aspecto: comederos auto-

máticos programables y bloques de alimentación de fin de semana.

Los comederos automáticos suministran el mismo alimento que les damos a nuestros peces y son programables para alimentarlos una o dos



Imagen 5.8.
Comedero automático

veces al día durante el fin de semana (dependiendo del modelo, la programación puede ser más o menos regulable). Los bloques de alimentación de fin de semana, por su parte, son tabletas o bolas que pueden ir comiendo los peces poco a poco y que no se deshacen con facilidad en el agua, con lo que no son contaminantes. Si usamos estos últimos,



debemos tener la precaución de retirarlos después del fin de semana. También existen bloques de liberación más lenta para períodos vacacionales.



Imagen 5.9.
Tabletas de liberación
lenta

La reproducción

En la bibliografía y webgrafía sobre el tema (recomendamos su revisión) se encuentran distintos sistemas para lograr la reproducción y obtención de huevos de pez cebra. Aquí se propone un sistema sencillo y contrastado que funciona bien en el

contexto escolar, tanto por su sencillez como por la disponibilidad de tiempo.

Para lograr la reproducción del pez cebra, recrearemos las condiciones de su hábitat natural por lo que debemos establecer un fotoperiodo de 14 horas de luz y una temperatura de 28° en el acuario. La temperatura la debemos controlar con un termómetro de acuario; el valor que nos indica en el calentador es un valor aproximado de su termostato con lo cual, para tener una medida más precisa, utilizaremos el termómetro.

La cantidad de peces debe estar en relación 2:1 de hembras frente a machos. Una buena proporción para las dimensiones de nuestro acuario serían 8 hembras y 4 machos.

El pez cebra es ovíparo y la fecundación es externa, de tal modo que la hembra pone los huevos y el macho los fertiliza liberando el líquido espermático después de la puesta de la hembra. En condiciones naturales, la freza o desove se produce entre plantas en el fondo del río de tal forma que los huevos quedan protegidos del canibalismo de los propios peces y de otros depredadores. En nuestro caso, debemos establecer un sistema



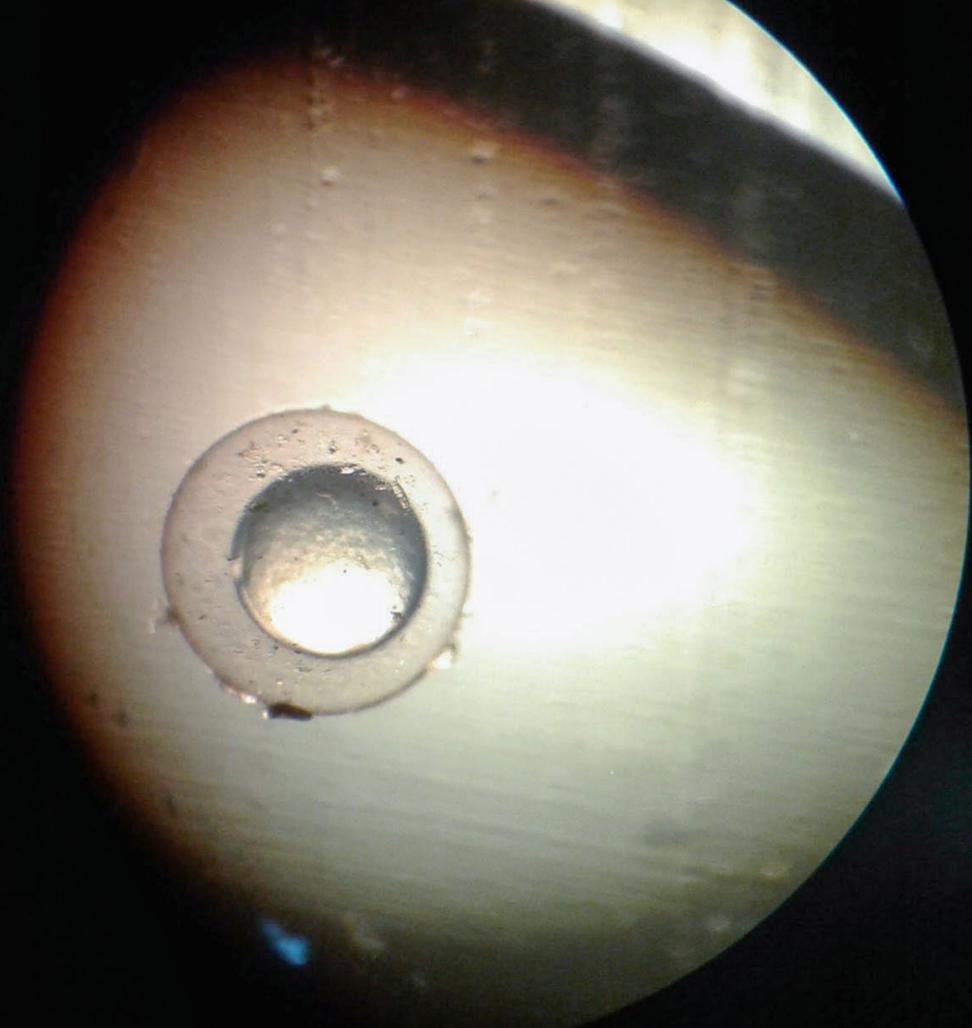


Imagen 5.10. • Huevo de pez cebra



para evitar que los peces se coman los huevos y al mismo tiempo poder recuperarlos para nuestra investigación. Aunque hay distintos sistemas como parideras comerciales y redes de separación, el que resulta más efectivo y sencillo en este caso es el «método de las canicas».

Utilizaremos un recipiente de plástico duro de aproximadamente 20 x 10 x 10 cm y le añadiremos canicas hasta llenar el fondo del mismo con 2 filas de altura. El objetivo es que los peces realicen la puesta en este recipiente y los huevos se depositen en el fondo; las canicas permiten que los huevos lleguen al fondo pero evitan que los peces puedan llegar a ellos y comérselos.

Dado que la freza del pez cebra se produce siempre con la primera luz del día (en nuestro caso, cuando le tengamos programado el encendido de la luz) deberemos colocar el recipiente en el acuario la noche anterior para que esté disponible para los peces a primera hora de la mañana. Recomendamos también que se coloque un pequeño trozo de red plástica o una planta artificial de acuario encima de las canicas para imitar el medio natural de desove de los peces.



Imagen 5.11. • Recipiente con canicas

Una hora después del encendido de la luz ya podemos retirar el recipiente para comprobar si en el fondo hay o no huevos.

La recogida y selección de huevos

Una vez retirado el recipiente de plástico del acuario, debemos tratar de buscar y recuperar los huevos que, como ya indicamos con anterioridad, estarán en el fondo del recipiente. El manejo debe ser muy cuidadoso en todo momento para evitar que se nos escapen los huevos del mismo. Cuando retiremos el recipiente del acuario, trataremos de vaciarle aproximadamente la mitad de agua; a continuación, lo colocaremos sobre una mesa y retiraremos las canicas a mano para un vaso de precipitados. Dado que los huevos están en el fondo, podemos decan-



Imagen 5.12. • Tamizado de huevos

tar lentamente el exceso de agua (que aprovecharemos para el acuario); cuando nos quede aproximadamente un dedo de agua, comprobaremos si en el fondo están los huevos, probablemente mezclados con restos de comida y heces.

Para recogerlos, lo más efectivo es pasar el agua por un colador o tamiz fino. Estos quedarán retenidos en él y podremos recuperarlos de una manera más sencilla.

Después, invertiremos el colador sobre un vaso de precipitados y verteremos solución E3 modificada sobre el mismo para facilitar la caída de los huevos en el vaso.



E3 modificada = 1 L H₂O de clorada + 3 mL solución stock de azul de metileno.

Solución stock azul de metileno = 0,01% azul de metileno en dH₂O (agua destilada).

La solución E3 modificada va a ser el medio que utilizemos para el crecimiento de los embriones, ya que el azul de metileno actúa como anti-fúngico frente a los hongos, el gran enemigo de los huevos en desarrollo.



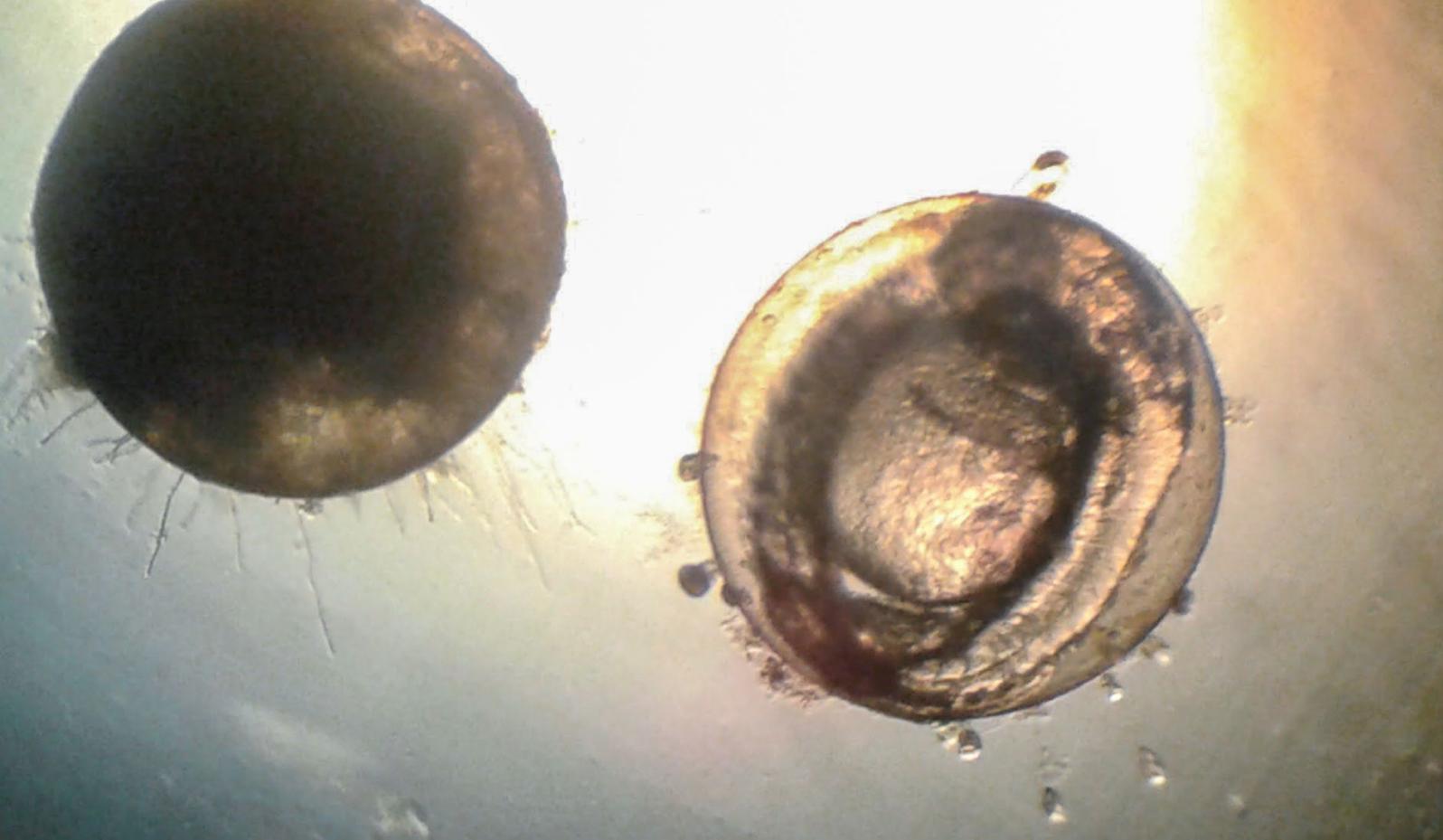


Imagen 5.13. • El huevo a la izquierda de la imagen está totalmente contaminado por hongos.
En el de la derecha de la imagen vemos hifas en la superficie del corion





Imagen 5.14. • Solución E3

Una vez que tengamos los huevos en el vaso de precipitados, utilizaremos una pipeta de plástico a fin de ir seleccionándolos uno a uno y transfiriéndolos a una placa de Petri con solución E3 modificada. En cada placa colocaremos 20 o 30 y renovaremos la solución E3 diariamente para evitar en lo posible el crecimiento de los hongos; además, retiraremos los huevos contaminados para mantener las placas de cultivo lo más limpias posible y tratar de evitar nuevas contaminaciones. Por otra parte, es normal que cada día aparezcan huevos contaminados y no viables que debemos

retirar; se pueden identificar a simple vista por su opacidad frente a la transparencia de los sanos. Al microscopio veremos perfectamente las hifas del hongo invadiendo los huevos.

Las placas de crecimiento deberán estar a una temperatura aproximada de 28°. Lo más sencillo es colocarlas sobre la tapa del acuario para lograr esta temperatura.

Durante los 8-10 primeros días de vida los embriones se alimentan del vitelo del huevo con lo cual no será necesario alimentarlos.

Estudio del desarrollo embrionario

Una de las prácticas de investigación más interesantes y atractivas para el alumnado es el seguimiento del desarrollo embrionario de los huevos.

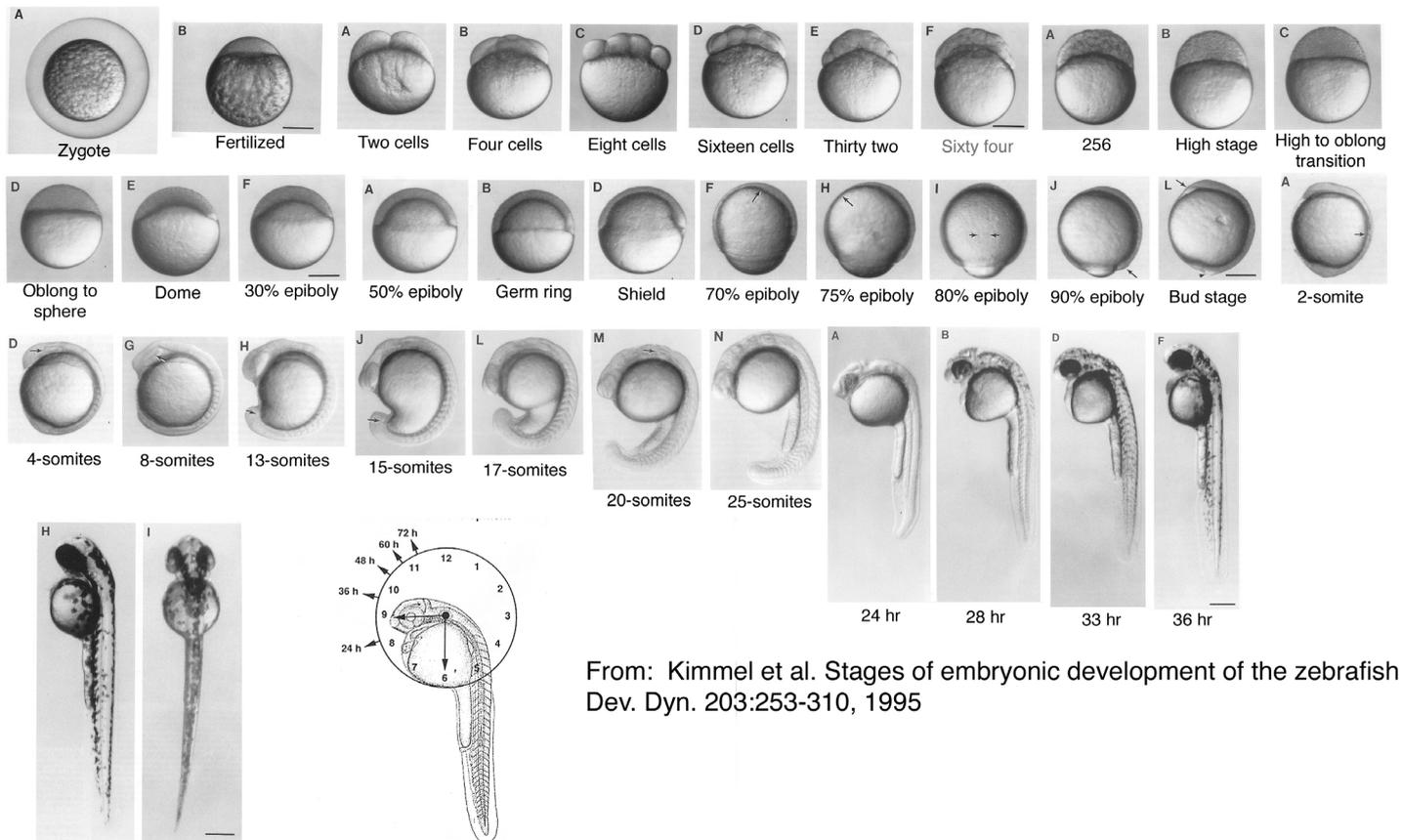
El pez cebra tiene un desarrollo embrionario muy rápido y, además, el corion del huevo es transparente, lo cual nos facilita su observación. Debemos tener en cuenta que aproximadamente a las 48 horas tendremos los juveniles desarrollados. Para realizar la identificación de las



Imagen 5.15. • Embriones al microscopio

Fotografía realizada por el alumnado en el laboratorio del centro utilizando un teléfono móvil





From: Kimmel et al. Stages of embryonic development of the zebrafish
 Dev. Dyn. 203:253-310, 1995

Imagen 5.16. • Esquema de identificación de los estadios de desarrollo embrionario del pez cebra

Kimmel et al. Stages of embryonic development of the zebrafish. Dev. Dyn. 203:253-310, 1995

distintas partes de los embriones utilizaremos la lupa binocular y el microscopio, por lo cual se recomienda que, antes de realizar estas prácticas, el alumnado esté familiarizado con en el manejo de estos instrumentos.

Debemos realizar observaciones en el mismo día de la recogida de los huevos y hasta las 48 horas siguientes para identificar distintas fases de desarrollo.

En el apartado de actividades veremos más directrices para realizar esta práctica.

El desarrollo de los alevines

Después de los 8-10 días de desarrollo, los alevines comenzarán a necesitar alimento para su crecimiento ya que el vitelo del que se alimentaron hasta ahora estará llegando a su fin. Si deseamos continuar con esta fase del proyecto deberemos poner las condiciones para que los alevines se desarrollen. Existen diferentes métodos que pasan siempre por mantener separados a los alevines de los adultos, ya que si los introdujésemos

en el acuario grande, servirían de alimento a los peces mayores.

Una opción es introducirlos en un recipiente dentro del acuario grande, independizados mediante una red de los ejemplares adultos; de esta forma, los alevines vivirán en el acuario pero evitaremos que sean alimento-presa de sus congéneres. Si consultamos en la red encontraremos multitud de formas de hacerlo.

Otro método, a nuestro parecer más adecuado e interesante desde el punto de vista didáctico, es establecer un segundo recipiente de cría (que puede ser incluso de plástico o metacrilato) en el que dispondremos 2 o 3 centímetros de agua del acuario y que colocaremos encima de la tapa del acuario original (para mantener la temperatura). Aquí sí podremos poner 3 o 4 cantos rodados y una red de PVC de 1 mm de luz, que sirvan de ocultación a los alevines y de sustrato para el crecimiento de protozoos.

El objetivo de este recipiente de cría es reproducir lo mejor posible las condiciones naturales para el desarrollo de los alevines; en este sentido, debemos tener en cuenta que el alimento natural





Imagen 5.17. • Embrión de pez cebra



en los primeros días de vida son protozoos y, por lo tanto, debemos favorecer el crecimiento de estos organismos. Para conseguirlo, colocaremos en el agua media hoja de lechuga de las de la parte más externa de la planta, que contiene estructuras reproductoras de protozoos; también podemos utilizar una pequeña cantidad de heno o una o dos hojas de diente de león silvestre. En cualquier caso, el objetivo es favorecer el crecimiento de los microorganismos y el desarrollo de una cadena trófica natural. Debemos tener la precaución de retirar este material vegetal transcurridos unos días para evitar pudriciones que contaminen el agua de nuestro recipiente de cría. Además de esto, también suministraremos alimento comercial para alevines, teniendo en cuenta el mismo principio que en el caso de la alimentación de adultos: utilizar muy pequeñas cantidades de alimento, en este caso será suficiente suministrarlo cada 2 días.

6

Actividades



A continuación se proponen una serie de actividades que han sido aplicadas y contrastadas en las aulas durante el desarrollo del proyecto.

La secuenciación de las actividades y su temporalización pueden ser adaptadas en función del contexto en el que se desarrollen.

Cada actividad incluye una propuesta para el alumnado y las correspondientes orientaciones para su aplicación en el aula.

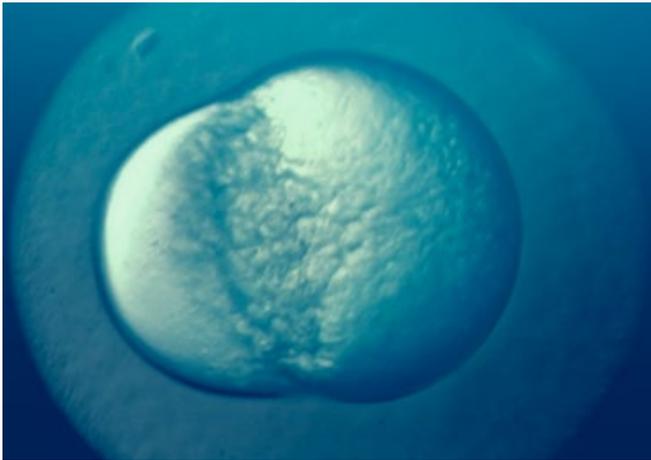


Imagen 6.1. • Huevo en los primeros estadios de desarrollo



Actividad 1. Presentación del proyecto

Orientaciones para el profesorado

La presentación del proyecto al alumnado es un momento clave del mismo, ya que es fundamental despertar el interés por esta experiencia para fomentar su participación activa. La exposición deberá dejar claro cuál es el objetivo del proyecto, qué se pretende conseguir, las actividades o tareas que tiene que realizar el alumnado y también la evaluación. Durante la presentación ya podemos proponer alguna actividad de búsqueda de información sobre la biología del pez cebrá y/o utilidades o campos de investigación en los que se usa.

En la exposición insistiremos en que las tareas que tiene que llevar a cabo el alumnado en el laboratorio son idénticas a parte de las tareas que realizan los investigadores que desarrollan proyectos con el pez cebrá como modelo y que, por lo tanto, estamos en un contexto real de aprendizaje.

El siguiente enlace corresponde a un vídeo de presentación del proyecto.

 youtu.be/T6AgfXdVou0



Actividad 1. Presentación del proyecto

Tareas para el alumnado

El pez cebrá, *Danio rerio*, se utiliza en distintos campos de investigación biomédica. Busca información en la red sobre:

- ¿Cuál es el hábitat natural y las condiciones de vida (biología) del pez cebrá?
- ¿En qué líneas de investigación se utiliza el pez cebrá?
- ¿Qué características debe cumplir una especie *modelo* de investigación?





Imagen 6.2. • Pez cebra





Actividad 2. Montaje del acuario

Orientaciones para el profesorado

El **montaje del acuario** nos permitirá abordar algunas cuestiones importantes sobre el funcionamiento de los ecosistemas y también desarrollar la competencia matemática para hacer algunos cálculos sencillos en un contexto real de aprendizaje. A la hora del montaje, en nuestro caso combinamos la exposición del profesor con preguntas al alumnado para fomentar su participación. Lo ideal es trabajar con un grupo reducido de alumnos, a lo sumo 10, o bien dividir el grupo para realizar esta actividad. Dado que se van a introducir distintos conceptos, la temporalización del montaje será de 2-3 sesiones en las que se irán desarrollando los siguientes contenidos:

La **colocación del acuario**. Conviene recordar la importancia de que al acuario no le dé la luz directa del sol (dificultaría el control de esta y la temperatura) y tampoco debe estar pegado a los radiadores de calefacción para evitar las fluctuaciones de temperatura.

Los **elementos del acuario**. Probablemente la mayoría del alumnado no tenga conocimientos

de acuariofilia, con lo cual debemos describir cada uno de los elementos y su función. Este sería el momento adecuado para introducir los conceptos de «ecosistema, hábitat, biotopo, biocenosis» y también la diferencia entre un ecosistema natural y uno artificial. En nuestro caso vamos a recrear en el acuario las condiciones de reproducción del pez cebra para lo que utilizaremos elementos tecnológicos (filtros, iluminación y calentador) para reproducir las condiciones de vida naturales. En el apartado de **biología del pez cebra** se facilita la información necesaria sobre la especie.



Imagen 6.3. • Alumnado montando acuario



Actividad 2. Montaje del acuario

Tareas para el alumnado

2.1. Registra en tu cuaderno un listado con todos los elementos necesarios para el funcionamiento del acuario.

2.2. Indica la función de cada uno de los siguientes elementos:

- termocalentador
- filtro
- lámpara de iluminación temporizada (conectada a temporizador)

2.3. Un poco de matemáticas. Comprueba las dimensiones del acuario y calcula la cantidad de agua en litros que puede contener.

Una pista: deberás calcular el volumen del recipiente en cm^3 y después hacer la conversión a litros.

2.4. El acondicionador de agua elimina el cloro y otras sustancias que podrían ser tóxicas para los peces, lo que nos permite utilizar el agua del «grifo» en el acuario.

Revisa las instrucciones del prospecto del acondicionador. Calcula la cantidad de acondicionador que necesitarás para cada garrafa de agua de 8 o 5 litros.





Actividad 3. Observación de las características de los peces

Orientaciones para el profesorado

La observación es una de las tareas fundamentales que realizan los científicos, por lo tanto, proponemos esta tarea: observar las características de los peces y tratar de que diferencien entre machos y hembras y se fijen, además, en las características externas del pez cebra.

Morfológicamente los machos se distinguen de las hembras por ser más alargados y tener el color de fondo en tono más próximo al dorado, frente al plateado de las hembras.



Cuestión para la reflexión

¿Cuánto pesa el pez cebra? ¿Hay diferencias de peso entre machos y hembras?

Con esta cuestión se pretende que el alumnado proponga la manera de pesar los peces y que expliquen también cómo compararían el peso de machos y hembras. Para calcularlo pesaremos primero un recipiente con una peque-

ña cantidad de agua y después pesaremos el mismo recipiente con los peces dentro. La diferencia será el peso real del pez o peces (según lo hagamos individualmente o en conjunto). Para comparar machos y hembras deberíamos asegurarnos de que el resto de variables (alimentación, edad y condiciones de vida) son las mismas; haremos esta reflexión también con el alumnado.

Para calcular el peso medio recomendamos pesar los peces individualmente y después calcularlo matemáticamente. También se pueden pesar todos los machos juntos y hembras juntas y hallar la media. Si utilizamos los 2 procedimientos nos permitiría comparar los resultados y reflexionar sobre los 2 métodos.

Se puede utilizar un programa informático para el registro y tratamiento de los datos y el cálculo del promedio, lo cual supone movilizar la competencia digital del alumnado en un contexto real de aprendizaje.



Actividad 3. Observación de las características de los peces

Tareas para el alumnado

Para lograr el éxito en la reproducción, lo ideal es que la proporción de hembras frente a machos sea de 2:1, es decir, que en nuestro acuario si introducimos 8 hembras debemos introducir también 4 machos. Si las proporciones no son estas, los peces pueden llegar a estresarse y tener dificultades en su reproducción.

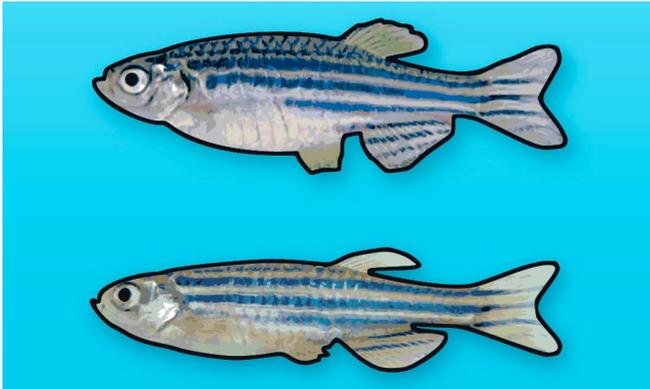


Imagen 6.4. • Diferencias morfológicas entre machos y hembras en el pez cebra

Por ello, es fundamental que sepamos diferenciar entre machos y hembras.

Fíjate en la imagen anterior y en los peces del acuario. Anota las características de los peces en tu cuaderno: número y posición de aletas, tamaño aproximado en centímetros, número de líneas azules en el cuerpo...

Intenta ahora identificar los machos y las hembras. Ten en cuenta que los machos tienen el cuerpo más alargado y el fondo ligeramente amarillento o dorado, frente al plateado de las hembras que presentan también un cuerpo más redondeado, especialmente cuando están en la fase reproductora.

¿Qué pesan más, las hembras o los machos?

Deberás, ahora, proponer un método para resolver la cuestión anterior. Ten en cuenta que puede haber varias formas de hacerlo.





Actividad 4. Control de calidad del agua. Registro y tratamiento de datos

Orientaciones para el profesorado

Una de las actividades común a todas las profesiones científicas y la más utilizada, sin lugar a dudas, por los investigadores es la recogida de datos y su tratamiento. En nuestro caso, podemos limitarnos únicamente a la recogida de datos de parámetros químicos del acuario o podemos dar un paso más y trabajar con estos datos para incluirlos en tablas y realizar gráficos en un programa informático de hoja de cálculo como Excel o Calc. Si el planteamiento que hicimos de este proyecto es que el alumnado realice un proyecto de investigación completo y el «producto final» del mismo va a ser un informe científico elaborado por los alumnos, la realización de tablas y gráficas puede incluirse en este informe final.

Como ya indicamos en el capítulo correspondiente, podemos utilizar tiras de indicación colorimétricas para el registro de datos de pH, dureza, amonio, nitratos, nitritos... En las tiendas del sector encontraremos distintas marcas y modelos.

Los parámetros que más nos interesan en nuestro caso son el pH y los relacionados con el ciclo del nitrógeno (amonio, nitritos y nitratos). El amonio puede llegar a ser muy tóxico para los peces y, si los niveles son altos, pueden condicionar mucho nuestro proyecto.



misma. En el apartado de **tareas para el alumnado** facilitamos un modelo para hacerlo (podéis modificarlo en función de vuestro criterio).

Durante las 3 primeras semanas después de la instalación del acuario se recomienda que el control sea diario. Después será suficiente con que el registro sea 2 veces por semana.

Actividad 4. Control de calidad del agua. **Registro y tratamiento de datos**

Tareas para el alumnado

El control de la calidad del agua del acuario es fundamental para el desarrollo de los peces. En esta tarea vas a realizar uno de los trabajos más comunes de los científicos: tomar datos, registrarlos y analizarlos.

Para la toma de datos de pH, amonio, nitritos y nitratos utilizaremos tiras indicadoras. Lee atentamente las instrucciones que se facilitan en el prospecto del paquete de tiras y realiza la medición de los parámetros químicos.

El registro de los datos lo vamos a anotar en la libreta de laboratorio del proyecto. A modo de ejemplo, dispones de la siguiente tabla para el pH.

TABLA DE REGISTRO DE pH		
Valor de pH	Fecha	Nombre de la persona que registra



Imagen 6.6. • Análisis agua

Actividad 5. Alimentación

Orientaciones para el profesorado

Como ya indicamos, la alimentación es una de las claves del éxito de nuestro proyecto y debemos tener especial cuidado en su organización.

Lo ideal es que el alumnado se encargue de esta tarea para lo cual se pueden establecer turnos, bajo el criterio del profesorado, en función de las características del alumnado del grupo.

El profesorado debe supervisar y orientar al alumnado a la hora de realizar la alimentación porque como ya dijimos con anterioridad, los alumnos tienden a suministrar alimento en exceso lo cual puede ser muy perjudicial.

Lo ideal es que durante el fin de semana los peces también sean alimentados, bien mediante tabletas de liberación lenta, bien utilizando un alimentador automático programable. En el capítulo 5 se dan indicaciones detalladas al respecto.



Cuestión para la reflexión

¿Por qué no debemos suministrar cantidades excesivas de alimento a los peces?

Actividad 5. Alimentación

Tareas para el alumnado

Para que los peces se encuentren en estado óptimo para la reproducción es necesario que estén bien alimentados. Para la alimentación de los peces suministraremos pequeñas cantidades de alimento seco 2 veces al día.

El procedimiento es el siguiente:

- Coge una pequeña cantidad, «pellizco», de alimento y échalo en el acuario. Los peces acudirán a comer vorazmente.



Imagen 6.7. • Pequeñas cantidades de comida

- Una vez acaben esa pequeña cantidad (20 o 30 segundos) puedes echarles de nuevo otro pellizco de comida. Si también la acaban y se muestran muy activos y agitados es señal de que puedes echarles de comer una última vez.

Lo ideal es que la alimentación se realice 2 veces al día. Una por la mañana a primera hora y otra, en las últimas horas de clase.



Actividad 6. Reproducción del pez cebra: Recogida y selección de huevos

Orientaciones para el profesorado

Si las condiciones que mantenemos en el acuario son las idóneas: proporción hembras frente a machos 2:1, alimentación adecuada, temperatura de 28°, fotoperiodo luz/oscuridad=14/10; nuestros peces comenzarán a reproducirse. En capítulos anteriores ya establecimos las posibilidades técnicas para la recogida de huevos fertilizados. Ahora corresponde llevarlo a la práctica con el alumnado. Las puestas son casi a diario con lo cual podemos probar antes de hacerlo con ellos.

En este momento, si no lo hicimos antes, debemos preparar la solución E3. Su preparación se hace partiendo de una solución stock de azul de metileno, tal y como se indica en la actividad para el alumnado. Guardaremos la solución stock por si necesitamos más de 1 litro de solución E3 (aunque debería ser suficiente). Si es posible, pediremos la colaboración del profesorado de física y química del centro para su preparación. El agua declorada es agua del grifo a la que dejamos reposar durante un día.



Imagen 6.8. • Recipiente de recogida de huevos

La noche anterior (o la tarde) pondremos el recipiente con las canicas en el acuario. Una hora después del encendido de la luz ya podemos retirar el recipiente y realizar la recogida de los huevos.

Transferiremos los huevos válidos a placas de Petri con solución E3 y colocaremos las placas encima de la tapa del acuario. Ese mismo día observaremos los huevos con microscopio y lupa binocular.





Imagen 6.9. • Alumnas seleccionando huevos



Cuestiones para la reflexión

- ¿Cuál es la finalidad de las canicas?
- ¿Para qué sirve la solución E3? ¿Por qué los hongos no afectan a los adultos y sí a los huevos?
- ¿De dónde salieron los hongos?
- ¿Para qué colocamos las placas de Petri encima de la tapa del acuario y no en otro sitio?



Actividad 6. Reproducción del pez cebra. Recogida y selección de huevos

Tareas para el alumnado

Si los peces están en buenas condiciones y bien alimentados comenzarán a reproducirse.

Danio rerio es una especie ovípara con fecundación externa lo que implica que los machos liberan el esperma encima de los huevos depositados previamente por las hembras. Nuestros peces liberarán los huevos en el recipiente que les hemos colocado y de aquí debemos recuperarlos y seleccionarlos ya que estarán mezclados con otras sustancias detriticas.

Procedimiento

1. Saca el recipiente con las canicas del acuario.
2. Vacía el agua lentamente hasta que queden aproximadamente 2 o 3 dedos de agua.
3. Retira las canicas.
4. Haz pasar el agua que permanece en el recipiente por un colador en el que quedarán retenidos los huevos (deberéis utilizar un colador con menos luz que el tamaño de los huevos).
5. Invierte el colador sobre un vaso de precipitados.

6. Lava con solución E3 el colador para que caigan los huevos en el vaso de precipitados
7. Utiliza una pipeta de plástico para coger los huevos y transferirlos a una placa Petri con solución E3.
8. Tapa la placa y colócala sobre el acuario. Diariamente debemos hacer el mantenimiento de las placas de Petri, cambiando la solución E3 y retirando los huevos infectados por hongos.

Preparación de solución E3

La realizaremos a partir de una solución stock de azul de metileno.

Solución stock azul de metileno = 0,01% azul de metileno en dH₂O (agua destilada)

Solución E3 = 1 L H₂O de clorada + 3 mL solución stock de azul de metileno.

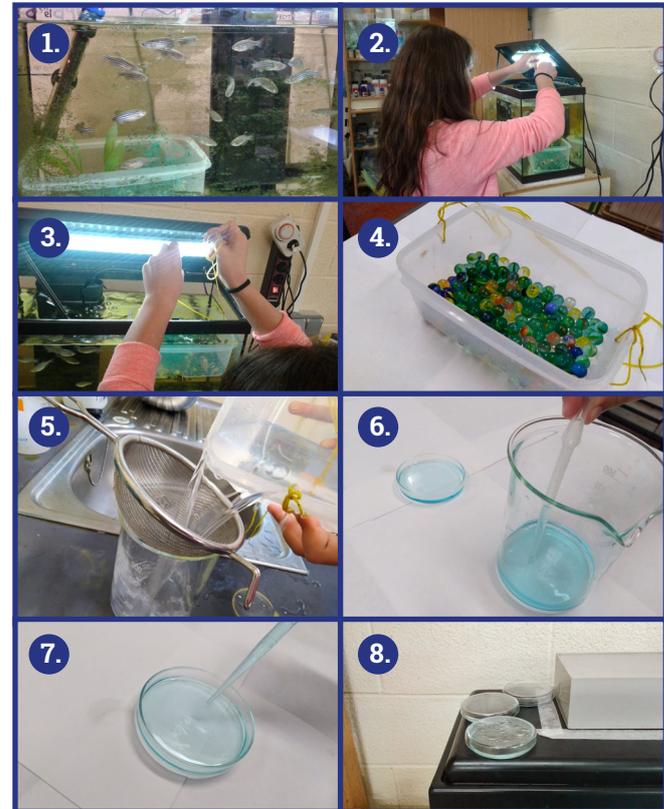


Imagen 6.10. • Procedimiento de recogida y selección de huevos



Actividad 7. Observación del desarrollo embrionario

Orientaciones para el profesorado

Una vez que disponemos de huevos, podemos realizar la observación del desarrollo embrionario utilizando la lupa binocular y el microscopio.

Necesitaremos también la ficha de identificación de fases que descargaremos del siguiente enlace:

▶ images.app.goo.gl/ti61bXaKZkFND3MQ7



Imagen 6.11. • Los embriones guardan gran similitud con los humanos y otros mamíferos

Es conveniente que el alumnado tenga un mínimo de destreza en el manejo del microscopio para realizar la observación. La tarea del alumnado consistirá en identificar el estadio de desarrollo de los huevos que observan. Se puede hacer directamente colocando la placa de Petri en la platina del microscopio en las primeras 48 horas. Para observar los alevines móviles los transferiremos utilizando una pipeta de plástico a un portaobjetos con una gota de solución E3, o bien en un porta excavado si disponemos de él.

En la imagen de la izquierda, vemos embriones de pez cebra fotografiados con el teléfono móvil a través del ocular del microscopio. Ésta también es una actividad que se puede proponer al alumnado, la realización de fotografías y/o vídeos para después utilizarlos en sus informes. El procedimiento es tan sencillo como aproximar el teléfono móvil al ocular hasta que observemos con nitidez la preparación, al principio puede resultar algo complicado, pero el alumnado suele conseguir buenos resultados.

En los laboratorios «profesionales», la observación del desarrollo embrionario del pez cebra



es un paso importante en las distintas investigaciones, tanto en trabajos sobre toxicidad de sustancias como en estudios de transgénesis o investigación del cáncer, con lo cual es conveniente indicarle al alumnado que están haciendo una tarea de investigación real, como la de los científicos profesionales.



Cuestión para la reflexión

En las placas te puedes encontrar con huevos en distinta fase de desarrollo embrionario, aunque éstas procedan de huevos recogidos el mismo día. ¿Cuáles pueden ser las causas? Argumenta tu respuesta.

En la actividad para el alumnado podemos plantear esta pregunta para la reflexión. En las placas podemos encontrarnos huevos en distintos estadios de desarrollo, esto puede deberse a pequeños cambios de temperatura en las placas (lo que influye en el desarrollo embrionario) o bien a que la fecundación no se produjo al mismo tiempo lo que supone que el desarrollo no sea exactamente el mismo.



Imagen 6.12. • Observación al microscopio



Actividad 7. Observación del desarrollo embrionario

Tareas para el alumnado

Una vez que disponemos de huevos fecundados de pez cebra, vamos ahora a ver su desarrollo.

El pez cebra tiene 3 características que lo hacen ideal para la investigación del desarrollo embrionario:

- Corion transparente.
- Desarrollo rápido, en 48 horas disponemos de un juvenil natatorio.
- Similitud con el embrión humano y de otros mamíferos.



Por ello es muy utilizado en la actualidad como organismo modelo en investigación.

Aunque los huevos se ven a simple vista, vamos a ayudarnos del microscopio y/o lupa binocular para su observación más detallada.

En los laboratorios profesionales es una fase importante ya que para realizar las distintas investigaciones deben conocer esta fase, por lo tanto vamos a trabajar como científicos.



Imagen 6.13.
Embriones de pez cebra

Materiales

- Portaobjetos.
- Pipeta Pasteur de plástico.
- Microscopio.
- Placa de Petri con huevos.
- Ficha de identificación de fases de desarrollo embrionario.

Procedimiento

- Con la pipeta Pasteur de plástico recoge un huevo de la placa de Petri y pásalo a un portaobjetos.
- Colócalo sobre la platina del microscopio.
- Utilizando la ficha de desarrollo embrionario, identifica las distintas partes del huevo y la fase de desarrollo embrionario en la que se encuentra.





Actividad 8. La cría de alevines

Orientaciones para el profesorado

Una vez logremos el desarrollo de embriones, estos sobrevivirán a costa del vitelo durante aproximadamente 10 días, después de lo cual deberán alimentarse para sobrevivir. Si los introdujésemos en el acuario con los adultos, serían presa de los mismos en pocos minutos, con lo cual si queremos lograr su crecimiento el sistema más eficaz, y también más oportuno desde el punto de vista didáctico, es instalar un acuario para su cría.

Con el fin de recrear las condiciones idóneas para el crecimiento de alevines seguiremos las indicaciones del capítulo 5. Se trata de facilitar el crecimiento de protozoos para que sirvan de alimento a los juveniles en sus primeros días de vida, al tiempo que también suministraremos pequeñas cantidades de alimento para *babys*, disponible en tiendas del sector. Conviene resaltar aquí el importante papel que juegan los organismos microscópicos como el plancton y los protozoos en el ecosistema. Podemos aprovechar esta parte de la actividad para hacer observaciones microscópicas de los microorganismos del acuario y construir una cadena trófica del mismo.



Cuestiones para la reflexión

- ¿De dónde obtiene los nutrientes el fitoplancton que se desarrolla en el acuario?
- ¿Cuál es el objetivo de la introducción de la hoja de lechuga (heno u hoja de otra planta)?
- ¿Cuál crees que son las funciones de la malla de PVC y de las piedras?
- ¿Por qué situamos el acuario de cría encima del acuario principal?



Actividad 8. La cría de alevines

Tareas para el alumnado

Después de pasados 10 días los peces agotan las reservas del vitelo y deben comenzar a alimentarse. Es el momento de transferirlos a un nuevo recipiente para su desarrollo.

8.1. Montaje del acuario de cría y cuidados

Materiales

- Acuario (o recipiente de plástico) de aproximadamente 30 x 20 x 15.
- Hoja de lechuga de la parte exterior, heno u hoja de planta silvestre tipo diente de león.
- 4 o 5 cantos rodados.
- Malla de PVC de 1 mm de luz o similar.



- Alimento para peces *babys* (o escamas de adultos pulverizadas).

Procedimiento

El montaje de este acuario de cría debemos realizarlo cuando recojamos los primeros huevos fecundados.

- Colocamos la malla de PVC en el fondo.
- Colocamos encima 4 o 5 cantos rodados o piedras redondeadas.
- Llenamos con agua del acuario hasta una altura de aproximadamente 2-3 cm.
- Introducimos la hoja de lechuga, un poco de heno u hoja de planta silvestre.
- Situamos el acuario de cría encima del acuario principal.
- A los 2 o 3 días retiramos la hoja para evitar putrefacciones.

Antes de introducir los alevines, comprobaremos con una tira que los parámetros del agua son correctos. Durante la primera semana no es necesario realizar cambios de agua. A medida que los peces van creciendo podemos ir aumentando poco a poco el volumen de agua.

Los alevines se alimentarán inicialmente de los microorganismos del acuario de cría. También suministraremos diariamente alimento para *babys*, en muy pequeñas cantidades para evitar la contaminación del agua. Hay que tener en cuenta que este acuario de cría carece de filtro y, por lo tanto, debemos evitar que el alimento se acumule en el mismo.

8.2. Observación de microorganismos del acuario de cría

Si realizamos el montaje correctamente, en el acuario de cría debería haber cierta cantidad de microorganismos.

- Con una pipeta de plástico recoge muestras de agua del acuario. Es conveniente raspar en las piedras y/o en la malla de PVC para recoger la muestra.
- Transfiere la muestra a un portaobjetos en forma de gota.
- Coloca un cubreobjetos encima.
- Realiza la observación al microscopio.





Imagen 6.14. • Microorganismos en el acuario





Actividad 9. El ciclo del nitrógeno en el acuario

Orientaciones para el profesorado

El acuario constituye un ecosistema artificial en el cual la materia orgánica que suministramos en forma de alimento es, en parte, incorporada por los peces y el resto es eliminado en forma de productos de desecho. Tanto el exceso de alimento no consumido, como los productos de desecho eliminados en la excreción constituyen una fuente de nitrógeno que puede llegar a ser tóxica si no se elimina correctamente.

Los compuestos nitrogenados generan amoníaco-amonio que es muy nocivo para los peces.

En el ciclo natural del nitrógeno, el amonio es convertido en nitritos y nitratos por las bacterias, siendo estos últimos mucho menos tóxicos, con lo cual, es fundamental promover el funcionamiento del ciclo del nitrógeno, lo que se conoce en acuariofilia como «ciclación» del acuario. Dado que el alumnado, en general, tiene la «idea previa» de que las bacterias son «algo malo», conviene hacer hincapié en la función beneficiosa de éstas en los ecosistemas, en general y en este caso, en particular.

En el siguiente enlace disponemos de un vídeo de corta duración en el que se explica de un modo sencillo el funcionamiento del ciclo en el acuario.

[▶ youtu.be/JFiBWdGJLUc](https://youtu.be/JFiBWdGJLUc)

Por lo tanto, para lograr el funcionamiento correcto del ciclo del nitrógeno suministraremos un *starter* comercial de bacterias disponible en tiendas del sector y dejaremos que el proceso de ciclación se complete durante unas 3 semanas. Durante ese tiempo, haremos el seguimiento de los niveles con las tiras indicadoras u otros reactivos disponibles en el mercado. Recomendamos consultar el capítulo de montaje y mantenimiento del acuario para el desarrollo de esta actividad.

Esta tarea es ideal para abordar el contenido de ecología sobre el ciclo de la materia, ya que es una aplicación práctica e inmediata del mismo.



Cuestiones para la reflexión

- ¿De dónde proviene el amonio del acuario?
- ¿Cuál es la función del sustrato poroso del «cartucho biológico» del filtro?
- En el lenguaje cotidiano se dice que las



bacterias «filtran» el amonio ¿te parece correcta esta expresión? Argumenta la respuesta.

- ¿Por qué debemos esperar 3 semanas para introducir todos los peces?
- Representa en un esquema el ciclo del carbono en el acuario.

Actividad 9. El ciclo del nitrógeno en el acuario

Tareas para el alumnado

A través del alimento suministramos proteínas y otras moléculas a nuestros peces, que después de su «metabolización» eliminarán en parte en forma de productos de desecho. Uno de esos productos de desecho es el amonio, que resulta muy tóxico para los peces en el caso de que no sea eliminado.

Existe un proceso natural, conocido como ciclo del nitrógeno, en el cual las bacterias nitrificantes transforman el amonio en nitritos y nitratos.

Nuestra función como cuidadores de los peces consiste en favorecer el crecimiento de las bacterias nitrificantes y controlar los niveles de amonio, nitritos y nitratos en el acuario.

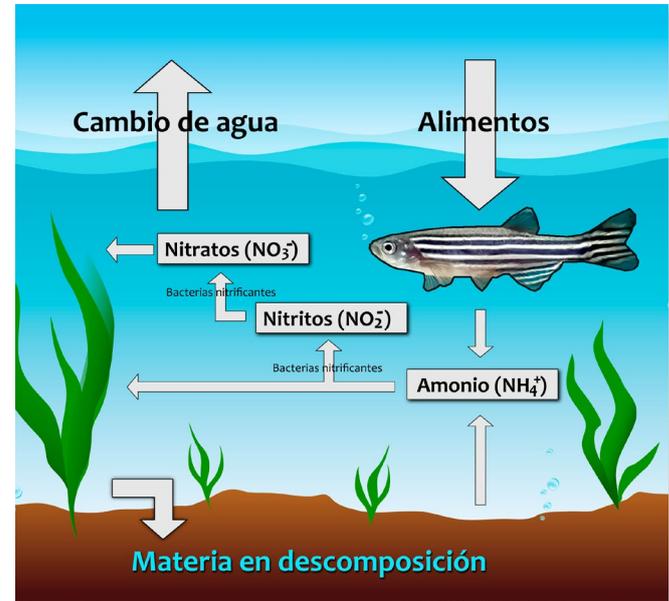


Imagen 6.15. • Ciclo del nitrógeno en el acuario

Materiales

- Preparado comercial a base de bacterias nitrificantes.
- Filtro poroso (biológico).
- Tiras indicadoras.



Imagen 6.16.
Bacterias nitrificantes

Procedimiento para instalación y crecimiento de colonias bacterianas

- Suministraremos la cantidad indicada del preparado comercial de bacterias nitrificantes.
- A los 6 o 7 días introduciremos 2 o 3 peces que suministrarán pequeñas cantidades de amonio que favorecerán el crecimiento de las colonias bacterianas.
- Nos aseguraremos de que el sistema de

filtrado dispone de una etapa de filtro poroso donde se instalarán las bacterias.

- Realizaremos cambios de agua semanales ($\frac{1}{3}$ del volumen) para renovar el agua y eliminar los nitratos.

Procedimiento para el control de niveles de amonio, nitritos y nitratos

- Utilizaremos las tiras indicadoras (u otro sistema comercial del que dispongamos) para el control de los niveles de amonio, nitritos y nitratos. Para ello consultaremos las instrucciones del prospecto.
- Anotaremos en la libreta de laboratorio los niveles registrados. El control durante las 3 primeras semanas será diario. Después será suficiente con realizarlo 2 veces por semana.



Otras propuestas de actividades o tareas para el alumnado relacionadas con el proyecto

Además de las actividades específicas propuestas con anterioridad, *Una cebra en el agua* ofrece un buen marco contextual para el desarrollo de tareas propias de la ciencia y que forman parte del currículum de las materias científicas.

Entre ellas podemos destacar:

- Elaboración de informes.
- Elaboración de presentaciones.
- Exposición pública.
- Lectura de textos científicos relacionados con el pez cebra.
- Desarrollo de trabajos en equipo: organización y planificación de tareas.



7

Recursos de apoyo: el pez cebra en investigación



Leer ciencia es una de las competencias que debemos promover en el alumnado, por lo cual decidimos incluir en este capítulo algunos textos de apoyo para la lectura en el contexto del proyecto. Los textos están adaptados para el trabajo con el alumnado de educación secundaria y bachillerato. En ellos se analiza el papel del pez cebra en distintos ámbitos de la investigación científica.

Texto 1. El pez cebra como especie modelo

El pez cebra presenta cualidades que lo definen como una especie modelo. Por esta razón se emplea para estudio de diversos fenómenos biológicos, como por ejemplo enfermedades humanas, estudios biomédicos, toxicogenómica.

¿Qué es una especie modelo?

Una especie modelo es un organismo no humano que se estudia en profundidad para entender algún proceso biológico, con el propósito de que los descubrimientos realizados en este organismo puedan ser aplicados a otras especies. Normalmente, la finalidad del conocimiento es aplicarlo a la especie humana, por lo que los resultados serán más aplicables cuanto más

cerca se encuentre la especie modelo del *Homo sapiens*, evolutivamente hablando.

Algunas de las razones esgrimidas para la utilización de estas especies son su sencillez de estudio, facilidad en la cría y número de descendientes, cortos intervalos intergeneracionales, tamaño, coste económico... y una característica muy importante es la implicación ética (entre otras razones, éticamente es más fácil utilizar por ejemplo peces que chimpancés).

Estos organismos pertenecen a un amplio rango de taxones, desde bacterias a animales o plantas. A la hora de seleccionar una especie modelo, es de crucial importancia hacerse la pregunta correcta acerca de lo que se pretende estudiar, de forma que se pueda elegir la especie idónea (pudiendo ser más de una especie la óptima para el trabajo a realizar).

Ejemplos de especies modelo

Escherichia coli. Bacteria presente en el intestino de multitud de animales, incluido el ser humano, como parte de la flora intestinal. Facilita el tránsito intestinal. Es la especie más utilizada en el estudio de procariotas.



Saccharomyces cerevisiae. Levadura (hongo unicelular) que se utiliza en la producción de cerveza, pan, vino. Muy útil para estudios moleculares por ser un organismo eucariota. Sus procesos moleculares son muy similares a plantas y animales.

Arabidopsis thaliana. Pequeña hierba. Planta diploide con un tiempo de vida muy corto con generación de muchas semillas que son viables durante un periodo elevado de tiempo (años). Tiene un genoma muy pequeño, por lo que es muy manejable. Esta especie es muy importante por haberse desarrollado en ella procesos de transformación utilizando la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*. La transformación es el proceso por el que se introduce material genético exógeno en una célula a través de bacterias (conjugación) o virus (transducción).

Zea mays. Maíz. Planta gramínea, es el cereal de mayor producción mundial. De ahí su importancia y que sea utilizada como especie modelo de la genética y biología del desarrollo.

Caenorhabditis elegans. Es un nematodo (vulgarmente gusano redondo) que vive en el suelo, con un tamaño aproximado de 1 mm. Muy

utilizado para estudios de desarrollo ya que es transparente, fácil de mantener y de manipulación muy sencilla; se conoce la evolución de cada una de sus células desde embrión hasta organismo adulto. Fue el primer organismo multicelular en el que se secuenció el genoma completo.

Drosophila melanogaster. Mosca de la fruta o mosca del vinagre. Muy utilizado en genética por su pequeño número de cromosomas y la existencia de genes homólogos a los causantes de enfermedades humanas. Algunas de sus características generales como especie modelo son: bajo coste, facilidad de cultivo y mantenimiento, tiempo de generación corto y mucha descendencia.

Xenopus laevis. Rana africana. Habita la mitad meridional de este continente. Mide entre 5 y 12 cm. Ha sido utilizado principalmente en estudios de desarrollo y experimentación embrionario, especialmente debido al gran tamaño de sus ovocitos.

Mus musculus. Ratón. Mamífero de pequeño tamaño y roedor. Como curiosidad, hay que indicar que normalmente se utilizan líneas albinas; son fáciles de manejar y manipular experimentalmente, presentan un alto número de crías... pero, sobre



todo, la importancia crucial de esta especie es la cercanía taxonómica al ser humano. Ambas especies son mamíferos euterios (las hembras tienen útero, donde se desarrollan los embriones) y comparten una gran cantidad de información genética. Gracias a la elevada resistencia de estos organismos y la cercanía evolutiva a la especie humana, se han desarrollado toda clase de técnicas experimentales para su manipulación (por ejemplo, existe una elevada variedad de ratones transgénicos para estudiar la actividad de algún gen).

El pez cebra como especie modelo

En la actualidad, el pez cebra (*Danio rerio*) es ampliamente utilizado como modelo biológico. Este pez, que es originario de los ríos del sureste asiático, se emplea en estudios de biología del desarrollo y genética, en diferentes aspectos de la biología de vertebrados e, incluso, como un modelo experimental en las enfermedades humanas, los estudios biomédicos y la toxicogenómica. Su utilización como modelo experimental tiene ciertas ventajas sobre otros modelos:

- El desarrollo embrionario es externo y los embriones son transparentes durante su crecimiento, lo cual permite poder observar

fácilmente con un estereomicroscopio el desarrollo de sus órganos internos.

- Los huevos son lo suficientemente resistentes como para ser manipulados de forma sencilla en procedimientos de mutagénesis, xenotrasplantes y transgénesis.
- Existe un amplio conocimiento de su biología básica y su genoma.
- Su obtención y mantenimiento es más económico que el de otros organismos modelo como pueden ser los mamíferos, ya que es capaz de aguantar variaciones producidas en el ambiente, debido a su lugar de procedencia.
- Tiene fecundación externa, por lo que si se quieren hacer modificaciones genéticas en el embrión, no es necesario manipular a la hembra reproductora.
- Su pequeño tamaño permite mantener un número elevado de ejemplares en un espacio relativamente pequeño.
- El tiempo de desarrollo del embrión es corto (72 h), al igual que el tiempo en el que alcanzan la maduración sexual (3-4 meses).
- Son fértiles todo el año, es decir, no tie-



nen una estacionalidad en su reproducción, lo cual les proporciona una gran capacidad reproductora.

- Una única hembra es capaz de poner cientos de huevos por semana, lo cual permite disponer de un gran número de individuos.

Reproducción

El cortejo sexual del pez cebra se inicia en la primera hora tras la salida del sol. El macho persigue a la hembra e incide con su aleta caudal en su zona ventral, donde se encuentra el ovario. Tras recibir el golpe, la hembra libera al exterior los huevos a través del oviducto, y una vez que se encuentra en el exterior, el macho los fecunda.

Desarrollo embrionario

Tras la fecundación de los huevos del pez cebra, las etapas del desarrollo embrionario se producen rápidamente en el interior de una membrana externa acelular denominada corión. La función principal de esta membrana es proteger al embrión, durante las primeras 48 horas post-fecundación (hpf), de los agentes físicos, químicos y biológicos externos y participar en el intercambio gaseoso por difusión pasiva a través de mul-

titud de poros presentes en el mismo. Durante este desarrollo, se produce una serie de divisiones celulares que darán origen a la formación de órganos y posteriormente a la eclosión de una larva (gracias a la acción simultánea de enzimas que provocan el «reblandecimiento del corion» y los movimientos espontáneos de la cola, el embrión se libera del interior del corion).

Anatomía

En cuanto a la anatomía externa del pez cebra, se pueden diferenciar tres regiones anatómicas, de craneal a caudal:

- Cabeza: comprendida entre el extremo de la boca y el borde caudal del opérculo.
- Tronco: comienza tras el opérculo y se extiende hasta la línea vertical que pasa por el ano. En él se encuentran lateralmente las aletas pectorales, ventralmente las aletas pélvicas y dorsalmente se encuentra la aleta dorsal.
- Cola: comprende la región que va desde la línea vertical que pasa por el ano hasta el pedúnculo caudal, donde se inserta la aleta caudal. Caudalmente al orificio anal se encuentra la aleta anal.



Los peces cebra presentan dimorfismo sexual, es decir, presentan importantes variaciones en la fisionomía externa entre los machos y las hembras de la misma especie.

Las hembras son, en promedio, más cortas, con una zona ventral muy clara y más redondeada y abultada (especialmente si son fértiles y tienen huevos maduros en su interior). La coloración entre las líneas azules es blanquecina-plateada. En caso de que ninguna de estas características sea diagnóstica, las hembras presentan dos aberturas en la zona anal: una será el propio ano y la segunda sería la zona final del oviducto.

Los machos son más fusiformes, alargados o con forma de torpedo. Además, entre las líneas azuladas presentan una coloración dorada. Y solo presentan la abertura anal.



Texto 2. Pez cebra y transgénesis

La transgénesis se podría definir como la transferencia de un gen (transgén) de un organismo a otro (ya sea entre variedades diferentes de la misma especie o entre especies diferentes) mediante técnicas de biología molecular.

Ese gen se integrará en el genoma del organismo en la etapa más temprana posible (embrión en estado de una célula) de forma que el gen esté presente en todas sus células, tanto en las somáticas como en los gametos, y que el nuevo carácter sea heredable.

Si el transgén se transfiere a un embrión de varias células y solo se integra en algunas de ellas, el resultado será un organismo que presente *mosaicismo*, es decir, sólo algunas partes presentarán características adquiridas.

- En el caso del pez cebra, se realiza una microinyección con el transgén en un huevo fecundado. La inyección se realiza tanto en el interior de la célula como en el vitelo. Esta segunda opción es la más utilizada, ya que el vitelo presenta un volumen mucho mayor, facilitando la inyección, y se difun-

dirá el transgén hasta el interior de las células, pudiendo realizarse la técnica cuando el embrión tiene más de una célula.

- Esta técnica tiene diferentes finalidades. Por una parte, se puede introducir un gen en el pez cebra para estudiar los efectos de ese gen en un organismo modelo, al no poder hacerse en la especie de interés (por ejemplo en personas) y, por otra parte, se puede utilizar para obtener peces con unas características especiales para un estudio determinado (por ejemplo peces con los vasos sanguíneos fluorescentes, a fin de poder observar cómo es su formación).



Texto 3. Xenotrasplantes y pez cebra

El trasplante es el procedimiento por el que se implanta un órgano, un tejido o células de un donante a un receptor.

Cuando el donante y el receptor son el mismo organismo se denomina «autotrasplante o autoinjerto» (p. ej. cuando una persona sufre una quemadura de cierta consideración, a veces se trasplanta piel de otra parte del cuerpo a la zona dañada).

Cuando el donante y el receptor son dos organismos independientes, pero genéticamente idénticos, se denomina «isotrasplante» (por ejemplo en el caso de dos hermanos gemelos idénticos, univitelinos).

Un «homotrasplante» o «alotrasplante» se da cuando el donante y el receptor pertenecen a la misma especie, sin ser genéticamente idénticos. Son los casos más conocidos, cuando se realizan trasplantes de órganos (hígado, riñón, pulmón...) entre personas.

Finalmente, se trata de un «heterotrasplante» o «xenotrasplante» cuando se realiza entre organismos pertenecientes a especies diferentes. Por ejemplo, se han utilizado tanto válvulas

cardíacas como piel de cerdo para el tratamiento en personas.

En el caso del pez cebra, se realizan xenotrasplantes de células tumorales humanas. Se inyectan esas células malignas humanas en embriones de 48 horas, de forma que se reproduzca la enfermedad en el animal con la finalidad de probar nuevas terapias anticancerígenas.



Texto 4. El pez cebra en estudios de procesos celulares

En este bloque se reúnen una serie de procesos biológicos relacionados con la proliferación y muerte celular. Estos procesos ayudarán a comprender, entre otras cosas, cómo se remodelan órganos/tejidos o qué mecanismos existen para evitar el desarrollo de células tumorales.

Apoptosis

Es un proceso de autodestrucción celular controlada que permite a los organismos multicelulares eliminar células dañadas o no necesarias de una forma perfectamente controlada que minimiza el daño de las células vecinas para su correcta morfogénesis, así como su renovación y la eliminación de las células que amenacen su supervivencia. Esta muerte es de vital importancia, tanto durante el desarrollo embrionario como durante la vida adulta.

La muerte celular en los animales a menudo es iniciada por la propia célula en la apoptosis, o suicidio celular. En este proceso, el ADN de la célula es degradado, su núcleo y su citoplasma se encogen y la célula sufre fagocitosis por parte de

otras células sin que se derrame su contenido. Por otra parte, las células que son dañadas por accidentes o enfermedades mueren de una forma descontrolada llamada necrosis.

En la apoptosis la célula se hincha, estalla y libera su contenido. El proceso es esencial para la embriogénesis; la mayoría de los animales multicelulares no puede completar su desarrollo si se inhibe este proceso.

Sorprendentemente, la mayoría de las células está programada para sufrir apoptosis y sobrevivirá sólo si el programa interno de muerte se mantiene constantemente inhibido. El proceso de la apoptosis está muy regulado y depende de numerosas señales internas y externas de la célula. Los genetistas han identificado varios genes que tienen un papel en distintas etapas de su regulación.

La célula apoptótica sufre una serie de cambios morfológicos característicos. La membrana plasmática se altera y aparece el *blebbing* (protuberancias en la membrana plasmática). El volumen celular se reduce considerablemente y el citoplasma se condensa. El núcleo se reduce y la cromatina se hace más densa y se colapsa



dividiéndose al final en varias esferas. La célula apoptótica es fagocitada por macrófagos o por células vecinas, evitando así la respuesta inflamatoria local ocasionada en la necrosis cuando la célula, al romperse, libera su contenido al medio.

Uno de los ejemplos más visibles del resultado de la muerte celular programada es la morfogénesis de los dedos, que se produce por eliminación de las áreas interdigitales. La muerte celular programada origina que los humanos tengamos 5 dedos en cada extremidad. Su ausencia en los patos, por ejemplo, les hace conservar su característica pata palmeada.

Otro ejemplo clásico es la muerte neuronal. Durante el desarrollo se producen neuronas en exceso, lo que permite posteriormente un refinamiento de la innervación al morir aquellas menos capacitadas, en una especie de selección darwiniana a nivel celular.

El sistema inmune también proporciona muchos de los ejemplos clásicos de muerte celular programada. Tanto en la selección del repertorio de linfocitos que han de defender al organismo, produciéndose la eliminación de aquellos que

reconocen antígenos propios, como en la eliminación de células infectadas o tumorales por citotoxicidad se requiere un correcto funcionamiento del mecanismo de muerte celular programada.

Senescencia

Este fenómeno se descubrió estudiando cultivos celulares in vitro, al detectar que la proliferación celular se detenía al llegar a las 50 divisiones. Estas células adquirirían un aspecto determinado. Y es un fenómeno que no ocurre con el cultivo de células tumorales, que se replican de manera indefinida.

Aunque hay otros motivos, la principal causa de estrés que genera senescencia en las células es el estrés oncogénico, en células pretumorales. Definiéndolo de una manera muy simplista, un tumor es un crecimiento descontrolado de células. Cuando la célula genera una serie de señales que provocan un fuerte incremento en la tasa mitótica (aumentan de manera notable los estímulos para dividirse) se activan un conjunto de alarmas que evitan esa proliferación.

Algunos de los fenómenos que caracterizan a las células senescentes son la detención de la proliferación celular, el aumento de tamaño



(pudiendo llegar al doble del original), presencia de daños permanentes en los núcleos y la secreción de sustancias al exterior de la célula (factores de crecimiento, proteasas...) Las células senescentes son eliminadas por células del sistema inmune.

La progresión hacia células malignas (cancerosas) implica la inhibición de los procesos de senescencia. Sin embargo, eso no significa que en esas células no se pueda restablecer tal actividad. Algunos estudios han sugerido la posibilidad de buscar caminos de reactivación de la senescencia como tratamiento anticancerígeno. Y aunque es una propuesta a desarrollar, se debe tener precaución puesto que una célula cancerosa en un estado similar al senescente podría mantenerse latente y provocar una recaída, por lo que se debe profundizar en el conocimiento de los mecanismos de eliminación de estas poblaciones celulares por parte del sistema inmune.

Además de la supresión de tumores, la senescencia está presente también en otros fenómenos como el envejecimiento celular, la reparación tisular y, sorprendentemente, también se ha descrito en algunos casos de fomento tumoral.

Además del envejecimiento celular, los fenómenos que pueden activar la senescencia son: activación de oncogenes, daño en el ADN, acortamiento telomérico, estrés oxidativo y compuestos citotóxicos.

Regeneración en el pez cebra

De manera general, la capacidad para la regeneración de estructuras dañadas en organismos vertebrados adultos suele ser muy limitada. Sin embargo, los embriones de esas mismas especies muestran una capacidad regenerativa sorprendentemente alta.

Existen, no obstante, especies en la que este fenómeno se mantiene en etapas adultas, entre ellas están los anfibios urodelos (como por ejemplo los tritones) y los peces teleosteos (entre los que destacaremos el pez cebra). Podrán regenerar tejidos e incluso órganos enteros durante todo su proceso vital.

El proceso de regeneración de los miembros en los tritones, así como de la regeneración de las aletas de los peces cebra, se ha estudiado especialmente bien y puede dividirse en tres fases principales:

- a) Curación de la herida, en la cual las células epiteliales migran y cubren la zona de la amputación.
- b) Diferenciación de células en el tejido circundante para originar la masa de células proliferativas e indiferenciadas conocida como blastema.
- c) Renovación, en la cual la padronización del blastema tiene como resultado la generación de un nuevo miembro/aleta.

Además de los miembros/aletas, los tritones y los peces cebra también regeneran grandes porciones del corazón tras su amputación. Al contrario que los mamíferos, tales como los humanos, en los cuales una herida en el corazón genera la formación de una marca no funcional, los tritones y los peces cebra responden a las heridas del corazón mediante la regeneración de tejido cardíaco totalmente funcional y correctamente dispuesto, incluso cuando las heridas se producen en el miocardio, el epicardio y el endocardio.

Volviendo a las aletas, cabe destacar que la capacidad para regenerarlas en sus procesos iniciales parece no estar correlacionada con la edad.

De tal manera que la regeneración puede ocurrir tanto en edades tempranas, como en adultos ya mayores. Además, esa capacidad regenerativa no se ve reducida tras daños repetidos, este fenómeno ha sido demostrado experimentalmente tras cortes consecutivos de la aleta caudal. Sí se ha observado, sin embargo, que existen ligeras diferencias en los estados más tardíos de la regeneración entre animales jóvenes y viejos.



8

Bibliografía y webgrafía

- GUERRA-VARELA, J. ET AL. (2016). «A Zebra in the Water: Inspiring Science in Spain». *Zebrafish*, 13(4), 241-7. doi: 10.1089/zeb.2015.1178
- KIMMEL, C. ET AL. (1995). «Stages of Embryonic Development of the Zebrafish». *Developmental Dynamics*, 203(3), 253-310. <https://doi.org/10.1002/aja.1002030302>
- ROCHA, A. ET AL. *Métodos sencillos para producir huevos embrionados de pez cebra*. Investigación agraria. Producción y sanidad animales, Vol. 17 (1-2). Recuperado en: http://www.inia.es/gcontrec/pub/rocha2_1161097533500.pdf
- *Seres modélicos, entre la naturaleza y el laboratorio*. Recuperado en: <http://seresmodelicos.csic.es/peix.html>
- Educación STEM. Disponible en: es.wikipedia.org/wiki/Educaci3n_STEM

Toda la webgrafía ha sido consultada el 18 de marzo de 2019



INTELIGENCIA
VISUAL



FECYT  FUNDACIÓN ESPAÑOLA
PARA LA CIENCIA
Y LA TECNOLOGÍA



DEPUTACIÓN DE LUGO

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA