

# Sistemas vivos para el salón de clase

*Fabricar un ecosistema acuático para el salón es un proyecto apasionante y un estímulo para discutir conceptos de ecología, biología, e hidráulica*



Mark Keffer

Por **Mark Keffer**

Traducido por Melida Gutierrez

**Materias:** ecología, botánica, zoología, ciencias ambientales, física (hidráulica)

**Conceptos clave:** ecosistemas acuáticos, biodiversidad, bioremediación, fitoremediación, microcosmos

**Habilidades:** observación, construcción de modelos, observación a largo plazo, adaptación de modelos, diseño de experimentos

**Lugar:** dentro del salón de clase, afuera para recolección de materiales

**Tiempo requerido:** 2-3 horas para armar los materiales, 2-3 horas para conectar el sistema. Varias semanas o meses para operar el sistema

**Materiales:** cubetas de plástico, manguera de plástico transparente, inyector de aire, arandelas, insertos de manguera, materiales vivos de lagunas o ambientes

acuáticos cercanos, bomba de acuario opcional, paquetes de determinación de calidad de agua.

Una “máquina viva” o sistema acuático vivo es una excelente herramienta de enseñanza, y es además anzuelo para muchos conceptos en las áreas de ciencias, estudios medioambientales, y otras áreas del plan de estudios. Se pueden utilizar para purificación de agua, tratamiento de residuos, cultivo de peces, cultivar hortalizas, o todos estos al mismo tiempo, dependiendo de cómo se diseñe. Es una gran oportunidad para aplicar técnicas de exploración y enseñanza por cooperación, es bastante divertido, y fomenta en los estudiantes confianza en proyectos de tipo hágalo-Ud.-mismo, lo cual no siempre es promovido por libros de texto.

La manera más fácil de describir un sistema acuático vivo es como la conexión de una serie de depósitos acuáticos, de tal manera que los materiales fluyan de un contenedor al otro. En vez de tener un solo tanque con una mezcla compleja de nichos y hábitats, un sistema vivo tiene varios tanques, cada uno consistente en un hábitat distinto que opera relativamente aislado pero que está conectado a los otros hábitats por el flujo de agua entre celdas. Al

aislar estas “celdas” que contienen hábitats diferentes, incrementamos la oportunidad de aprender acerca de las características únicas de cada hábitat, y abrimos la puerta a muchas otras ideas. A continuación se mencionan algunos de los conceptos principales relacionados con sistemas vivos y se da una explicación breve de los pasos que lo llevarán a instalar este sistema en su salón de clase.

**Conceptos: hábitat, nicho, factores biótico y abióticos, punto óptimo, rango de tolerancia**

Los sistemas vivos constan en varios contenedores o “celdas”, los cuales contienen organismos acuáticos. El agua fluye de un contenedor al siguiente, distribuyendo entre ellos nutrientes, desperdicio y microorganismos. Como cada contenedor tiene sus propias condiciones y sustancias, se crean hábitats y nichos diversos. Por ejemplo, en el sistema descrito aquí, una celda contiene algas (lana) y otras plantas acuáticas emergentes. Las raíces de las plantas emergentes proveen área superficial donde las bacterias se adhieren y dan albergue a otros organismos tales como caracoles. La lana es también hábitat para otros organismos, pero éstos son diferentes a los que habitan en la celda de plantas emergentes. Los sistemas también se pueden diseñar para incluir un hábitat de hojas en estado de descomposición, representando el suelo de bosques tropicales, o un pedazo de césped cortado del jardín de la escuela, o arena de río o de playa. Las condiciones se hacen variar en cada una de las celdas ya sea cambiando la temperatura, cantidad de luz, presencia o ausencia de burbujeo de aire, cantidad de guarida para insectos, etc.

Variando las condiciones bióticas y abióticas entre las celdas y luego examinando la vida que prolifera bajo esas condiciones, los estudiantes pueden observar ejemplos concretos de conceptos tales como condiciones óptimas, rango de tolerancia, hábitat y nicho. Cada conjunto de condiciones ambientales favorece a un grupo específico de organismos. Si un ambiente cambia y ya no es apropiado para un organismo en particular, el organismo tiene solo dos opciones: cambiarse a un lugar más favorable, o morir. Esto es un ejemplo bastante claro de lo que pasa en el mundo real cuando organismos pierden su hábitat.

**Conceptos: nivel trófico, cadena de alimentación y redes, biodiversidad, poblaciones, comunidades, estabilidad**

Ayudados por el agua, microorganismos y nutrientes pasan libremente de celda a celda. Después de un tiempo, los organismos encuentran el área que mejor les acomoda, la habitan, y si las condiciones son las adecuadas, se reproducen. Una mayor biodiversidad

incrementa la complejidad de la cadena alimenticia presente, y esto incrementa la habilidad del sistema para subsistir cambios como son la adición de sustancias nocivas, un cambio brusco de temperatura, pérdida de una especie en particular, o interrupción en la energía eléctrica cuando la bomba de aireación deja de funcionar.

**Conceptos: ciclos del nitrógeno y del carbón, la importancia de microorganismos, fotosíntesis, respiración, excreta, metabolismo, simbiosis**

Los sistemas vivos proveen excelentes oportunidades para que los estudiantes exploren los ciclos químicos de vida, así como simbiosis e interdependencia entre organismos. En un sistema vivo ya sea dentro del salón o en el mundo real, el material excretado por un organismo es el nutriente de otro organismo. Por ejemplo, mientras que los peces son el organismo más visible de un sistema, su mera existencia depende de muchos de otros habitantes y sus interacciones. Uno de los productos excretados por peces es amonio, y si este amonio se acumula en el sistema, puede matar al pez. La bacteria nitrificante que vive en el agua toma el amonio y produce nitritos, los cuales cambian a una forma mucho menos tóxica, que es la de nitrato. Los nitratos son fertilizante para las plantas presentes en el sistema. Al tomar los nitratos a través de sus raíces, las plantas purifican el agua. Las raíces de estas plantas proveen además la superficie sólida que necesitan las bacterias nitrificantes para adherirse. Las plantas estimulan esta relación simbiótica con bacterias al segregar sustancias (como azúcares) por medio de sus raíces que nutren las bacterias y así les ayudan a continuar con su labor de convertir amonio a nitrato.

**Conceptos: sistemas cerrados y abiertos, sustentabilidad, interrelaciones con la biósfera**

Los sistemas vivos se mantienen a sí mismos. Una vez que están operando de forma sostenida, producen su propia comida y tratan sus propios desperdicios, con entradas adicionales de solamente luz solar y tal vez una bomba de aireación.

**Conceptos: hidráulica, gastos, presión hidráulica, energía potencial**

Las variadas configuraciones posibles en cuanto a conectar las celdas y recircular el agua entre ellas provee a los estudiantes de oportunidades para investigar conceptos hidráulicos. Por ejemplo, los estudiantes pueden variar el gasto ajustando la elevación del agua, la cantidad de agua que se suministra o el diámetro de las mangueras a través de las cuales fluye el agua.

## Como hacer un sistema vivo simple

Los requerimientos mínimos para fabricar un sistema vivo son tres. Primero, se necesitan contenedores. Cualquier tipo de contenedor sirve, siempre y cuando pueda almacenar agua y (en la mayoría de los casos) permitir el acceso de luz. Segundo, se necesita el suministro de agua que fluya de un contenedor al siguiente. Esto se puede obtener sifoneando (conexión alrededor de la pared) o usando aditamentos a través de perforaciones en la pared del contenedor. Tercero, se necesita mover el agua de un contenedor al siguiente. La mayor parte de este movimiento acontece por gravedad, pero en alguna parte, el agua va a tener que ser elevada. Esta elevación del agua se logra ya sea con una bomba eléctrica o una bomba de aire.

### Contenedores

Cubetas de plástico, botes plásticos para basura y otros contenedores funcionan como celdas para el sistema. Peceras de vidrio no son recomendables ya que perforar agujeros en el vidrio requiere equipo especial y es muy fácil resquebrajarlo. Los contenedores no tienen que ser necesariamente del mismo tamaño o forma, sin embargo resulta más fácil el diseño si sí lo son. Las instrucciones descritas aquí son para cuatro contenedores de plástico semitransparente de 55 litros de capacidad cada uno. Estos miden 45 x 45 x 64 cm, y se consiguen en tiendas que venden contenedores grandes. Jarras plásticas grandes de 19 litros con la tapa recortada también funcionan bien y ocupan menos espacio (puede conseguir jarras defectuosas pero usables muy baratas en tiendas proveedoras de agua potable). Contenedores cilíndricos tales como jarrones de agua potable son excelentes para observar lo que pasa adentro de ellos. Sin embargo, si los contenedores son demasiado pequeños, la curvatura de la pared causa que sellar la conexión perforando la pared sea más difícil.

Verifique que los contenedores no tengan alguna fuga de agua antes de empezar, y recuerde que los contenedores se ensanchan una vez que están llenos de agua. También asegúrese que el lugar donde los va a poner aguante bien el peso del agua. El agua es pesada!, un litro de agua pesa 1 kilogramo (8.4 libras por galón). Un garrafón de 55 litros, lleno a sus dos terceras partes, pesa 37 kilogramos. El peso también debe ser considerado al tratar de mover los contenedores, y las agarraderas de algunos contenedores pueden ser inadecuadas para mover el peso una vez que están llenas de agua. Es buena idea vaciar los contenedores parcialmente por lo menos, antes de tratar de levantarlos por las agarraderas.

### Sifón vs. Conexión alrededor de la pared

El agua se puede hacer fluir entre celdas de muchas maneras diferentes. En la forma más simple, el agua se puede vaciar manualmente de una celda a la siguiente. Aunque esto suele ocasionar derrames, puede ser una manera interesante de imitar condiciones de encharcamiento que ocurren de manera natural en arroyos y ríos. El agua también se puede sifonear sobre uno de los contenedores y hacia el siguiente. Esto requiere una manguera para sifonear y tiene la ventaja de que no se necesita perforar un agujero en las paredes de los contenedores. Una vez que tiene el agua fluyendo en el tubo de sifón, continuará moviéndose hacia arriba y al otro lado del borde del contenedor a través de la manguera mientras el nivel del agua esté más elevado que el extremo bajo del tubo. Sin embargo, si el flujo en el sifón se interrumpe por alguna razón (por ejemplo, si entra aire dentro del tubo) entonces alguien tiene que empezar el flujo de nuevo. Esto puede ser desastroso si la interrupción ocurre durante la noche o cuando no hay alguien cerca que lo pueda arreglar.

Lo más acertado es perforar agujeros en las paredes de los contenedores y conectar los contenedores entre sí con pedazos de manguera o tubo. Este método causará menos derramamientos. La desventaja es que usted necesita perforar los hoyos y asegurarse que no haya fuga alrededor de ellos. El sistema de arandela-tubo descrito a continuación es fácil y seguro, rápido de elaborar y no requiere de uso de sellador.

### Elevador neumático, bombas, y aireadores

Una bomba de elevador neumático es una manera simple y efectiva de elevar agua del punto más bajo de regreso a la parte superior. Requiere solamente de manguera plástica y un aireador barato para peceras. Estas bombas usan diferencia en presión hidráulica para alzar agua: cuando el aire se inyecta en la parte inferior de una columna de agua, el agua aireada se eleva, ya que la densidad del agua debajo de las burbujas es mayor. Al elevarse las burbujas, se expanden, aumentando el efecto, si el agua y las burbujas se canalizan por medio de un tubo, el agua dentro del tubo se eleva arriba de la superficie del agua a su alrededor.

Estas bombas de aire tienen la ventaja de que no se tapan con materia sólida como las bombas eléctricas, y airean el agua al mismo tiempo que la elevan. Una fuente de oxígeno es importante tanto para los peces como para las bacterias que transforman el amonio en nitrato. Otra ventaja de las bombas de aire es que los organismos vivos tienen menos probabilidad de sufrir daños al estar cerca a la bomba. Las desventajas de estas bombas son que no

pueden subir agua a una elevación grande o mover agua tan rápidamente como una bomba eléctrica. En el sistema descrito aquí, una bomba de aire puede elevar agua 10-15 cm como máximo. Sin embargo, esta cantidad es suficiente para que el sistema funcione adecuadamente.

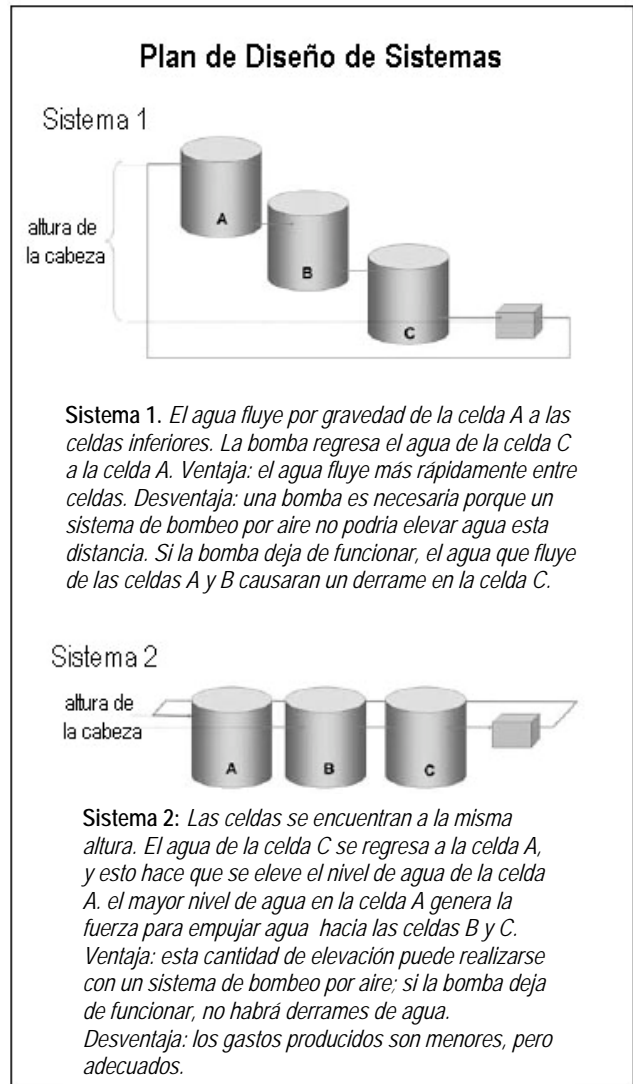
Cuatro variables principalmente afectan el movimiento de agua en un sistema de bombeo por aire: la cantidad de aire que se inyecta, la cantidad de fricción en el tubo, la profundidad a la cual el aire es inyectado y la cantidad de elevación arriba de la superficie que se requiere. El diámetro de la manguera usado para la bomba de aire también tiene un efecto. En la descripción a continuación, las mangueras tienen un diámetro de media pulgada.

El movimiento de agua entre celda y celda ayuda a los organismos a moverse hasta encontrar sus condiciones de vida óptimas. Un gasto rápido entre celdas puede usarse para simular condiciones de ríos, mientras que gastos más pequeños simulan las condiciones presentes en lagos o humedales. Si el gasto entre celdas es muy lento, los organismos no podrán moverse rápidamente entre celdas hasta encontrar condiciones óptimas. Si el gasto es demasiado rápido, los organismos pueden lesionarse o ser arrastrados por la corriente sin poder habitar sus lugares óptimos.

En general, una bomba de pecera producirá gastos más altos que los producidos por una bomba de aire. Si usted desea un sistema que fluya rápido, entonces debe usar una bomba eléctrica. Entre más elevado sea el punto a donde se necesite bombear el agua, el gasto será mas lento. Las bombas generalmente se venden con una descripción de los gastos que se obtendrán al bombear a diferentes elevaciones. Los gastos deben ser tales que el volumen de agua en el sistema sea intercambiado en un lapso de 24 a 36 horas. El sistema de bombeo por aire descrito aquí fluye aproximadamente a esta razón. No es necesario entonces adquirir una bomba de alto volumen. Para la mayoría de los sistemas, una bomba de aire para una pecera pequeña en el rango de \$20 a 30 dólares será suficiente.

### Diseño de Sistemas

El diagrama de "Diseño de Sistemas" muestra dos diseños sencillos para un sistema vivo. Ambos producen una diferencia en el nivel del agua. Entre más grande sea el nivel hidráulico, mayor la energía potencial. La elevación más alta de agua en el sistema se llama potencial hidráulico. No importa si el nivel del agua está a una altura mayor debido a que el agua dentro de la celda es mayor o porque la celda misma está a una altura mayor. En general, el gasto a través del sistema dependerá de tres factores: el potencial hidráulico (que tanto está elevado el nivel



del agua); la cantidad de agua que se eleva a esa altura; y lo grueso de los tubos a través de los cuales fluye el agua. Al incrementar cualquiera de estos factores conlleva a un gasto mayor de agua a través del sistema.

A continuación se describe un método rápido y fácil para colocar un sistema usando conectores en paredes perforadas que permiten el flujo de agua de una celda a la siguiente, y operado por una bomba de aire que eleva el agua de manera que pueda circular por entre las celdas. Las instrucciones que se adjuntan corresponden al Sistema 2 en el diagrama. Esta es una de muchas posibilidades para tener un sistema operando adecuadamente. Parte de la diversión (y valor educativo) de construir el propio sistema en el salón son el improvisar y experimentar.



*Izquierda y centro: en un sistema de cuatro celdas, los agujeros en dos de los contenedores son "mano izquierda" y en los otros dos "mano derecha". Derecha: un inserto de manguera colocado dentro de una arandela produce una conexión impermeable donde no hay necesidad de usar sellador, y es fácil de desarmar.*

### Materiales

- Cuatro contenedores plásticos rectangulares de 55 litros (otros tipo de contenedores también se pueden usar, ver la sección de "contenedores" arriba)
- Taladro eléctrico con cortador para agujeros para cortar agujeros en los contenedores
- Sierra para agujeros de  $\frac{3}{4}$ "
- 2.3 m de manguera de plástico transparente de diámetro interior  $\frac{1}{2}$  pulgada; cuatro tramos de 30 cm (para conectar una celda con otra); seis tramos de 10 cm (para salidas) un tramo de 50 cm de longitud (para el bombeo con aire)
- 1 tuerca hexagonal de acero inoxidable de  $\frac{1}{2}$  p" diámetro interior (sirve como contrapeso para el tubo de bombeo de aire)
- Ocho arandelas de hule con un diámetro exterior de 1  $\frac{1}{8}$ ", diámetro interior de  $\frac{5}{8}$ ", espesor de la ranura  $\frac{1}{16}$ " y diámetro de la ranura  $\frac{1}{8}$ " (adquiera algunas extra ya que el hule tiende a resquebrajarse y secarse con el tiempo, especialmente cuando se está expuesto al sol; ver sección de Recursos para lugares donde se pueden comprar)
- Ocho insertos de manguera plástica de  $\frac{1}{2}$  ", por lo menos 2 pulgadas de largo (también conocidos como conectores, se encuentran en ferreterías en sección de plomería)
- Tres codos de plástico de  $\frac{1}{2}$ ", 90 grados, con conectores para manguera
- Aireador para pecera y/o bomba (ver nota acerca de aireadores y bombas arriba; la bomba puede usarse para obtener mayor gasto; en ese caso el aireador es opcional)
- 1.3 a 2 metros de manguera plástica para el aireador (el tamaño del tubo tiene que corresponder con el del aireador: generalmente  $\frac{1}{8}$ " )
- Caja invertida o cualquier otra superficie donde se pueda poner el aireador de manera que este a la elevación de la altura de los contenedores
- Peces (pececitos dorados funcionan bien) y otros organismos (adquiera éstos luego que el sistema haya estado operando bien durante varios días con solamente agua)
- Plantas, lodo, suelo y agua de estanque

### Procedimiento

1. perfore agujeros de  $\frac{3}{4}$ " en dos paredes de cada contenedor. Los agujeros deben estar dos terceras partes de lo alto de la pared del contenedor. Para el arreglo más compacto posible, perfore los agujeros en la dirección "derecha" (lados norte y este del contenedor) en dos de los contenedores y el posición "izquierda" (lados norte y oeste del contenedor) en los otros dos. Este arreglo permite que lo contenedores estén unidos de dos-en-dos como se ilustra en el diagrama "arreglo con cuatro celdas".
2. inserte las arandelas de hule en los agujeros. Si la orilla del agujero esta rasgado, suavícelo con una lija de papel de arena gruesa.
3. coloque los insertos de manguera dentro de las arandelas. Esto es más fácil si tanto las arandelas



como el inserto de manguera están mojados. Si se pone la superficie pegajosa, lubrique la superficie con un poco de glicerol (jabón de loza líquido también funciona bien, siempre y cuando se eliminen todas las trazas de jabón antes de operar el sistema). Coloque los insertos de manguera a media distancia dentro de las arandelas, de manera que la misma cantidad de inserto este adentro y afuera de la pared del contenedor.

4. Escoja un área que reciba bastante luz, y coloque los contenedores o celdas como se muestra. Los tubos deben estar separados 20 a 30 cm. Los contenedores pueden estar en el suelo o sobre una mesa, en caso de que la mesa aguante el peso de los contenedores llenos de agua (aproximadamente 147 kg o 325 libras). Designe uno de los contenedores como el que va a contener la bomba de aire; ésta será la celda 1". (no importa cual celda, pero debe estar cerca al lugar donde el aireador va a instalarse). Conecte los contenedores por medio de una manguera de 30 cm entre una celda y otra, conectándola a cada uno de los insertos de manguera en la parte exterior de la pared (ver diagrama "Diseño cuatro celdas", el cual muestra una vista general del sistema).

5. Conecte dos tramos de manguera de 10 cm a cada extremo del codo, formando una "L."

6. Designe uno de los hoyos en la celda 2 para ser la salida y otro para ser la entrada (ver diagrama "Diseño cuatro celdas"). Conecte uno de los extremos de la "L" a la parte interior del inserto de manguera que va a ser la salida de agua. Oriente la "L" de tal manera que el lado abierto apunte hacia abajo, hacia el fondo del contenedor. Esta posición de la manguera de salida baja en el contenedor va a evitar que la vegetación de la superficie y otros solidos tapen la salida hacia la celda siguiente. También va a facilitar que agua en la parte inferior

del contenedor circule a la celda siguiente, en vez de que el intercambio se limite a solamente las capas superiores de agua.

7. repita los pasos 5 y 6 para las celdas 3 y 4.

8. en la cuarta celda (Celda 1), conecte el tramo de manguera de 50 cm a la parte interior de la salida. Este tubo va a ser la bomba de aire. Sumérjala en el agua tanto como sea posible el tubo.

9. ponga la tuerca de acero inoxidable alrededor del extremo distal del tubo de 50 cm (el extremo opuesto al inserto de manguera). Esto actuara como sobrepeso. Sin este sobrepeso, la inyección de burbujas de aire causarían que el tubo flotara, lo cual reduciría considerablemente el efecto de bombeo. El bombeo por aire funciona mejor si se lleva a cabo en una forma de S curvada ligeramente, como se muestra en el diagrama "tubo de bombeo por aire." (la manguera de la bomba de aire en el diagrama "Diseño cuatro celdas" se muestra con los codos para facilitar el dibujo. Sin embargo, estos codos reducen el gasto de bombeo por aire.)

10. Inserte el tubo del aireador 2.5 a 3 cm dentro del tubo de aireación. Para asegurar que el aireador se mantenga en su lugar, corte un pequeño agujero en el tubo de aireación, insertando el tubo del aireador por allí. Esto debe ser 2.5 a 3 cm de la parte distal del tubo. La inyección de aire se debe hacer tan profundo como sea posible, sin permitir que las burbujas salgan por ese extremo distal. Cualquier burbuja que escape por el extremo distal reduce la eficiencia del bombeo. Si las burbujas empiezan a escapar por el extremo distal del tubo de bombeo, empuje el aireador un poco hacia arriba, hasta que las burbujas no escapen por allí.

11. Llene el sistema con agua hasta el nivel de los agujeros (dos terceras partes de los contenedores). Si

las arandelas se han instalado adecuadamente, no habrá fuga de agua alrededor de los insertos de manguera.

12. Eleve el aireador hasta que este arriba del nivel de agua (y note que el aireador nunca debe estar sumergido!). Si el aireador no se eleva y por alguna razón el flujo de aire cesa, el agua se regresara por el tubo de aire y entrara al aireador, lo que lo dañara.

13. Encienda el aireador para iniciar el bombeo por aire. El agua deberá empezar a formar burbujas de la celda de bombeo (celda 1) a la celda 2, el agua entrara luego a la celda 4 proveniente de la celda 3, remplazándola. Aunque el gasto es pequeño, con pequeños ajustes es posible generar un gasto de hasta 100 ml/min. Esta cantidad de gasto es suficiente para intercambiar el agua del sistema completamente en 24 horas. Otros posibles ajustes incluyen el aumento de gasto y remoción de vueltas o pellizcos en la manguera de aire. Al incrementar el flujo de aire se incrementara el gasto hasta cierto nivel, una vez que se continua incrementando el flujo de aire pasado un cierto punto ya no se va a incrementar el gasto. Dobleces o pellizcos en el tubo de bombeo causaran una reducción en el gasto.

14. una vez que el sistema está funcionando, déjelo fluir por varios días con solamente agua, antes de añadir animales o plantas. Esto dará la oportunidad de encontrar y arreglar fugas de agua alrededor de mangueras y arandelas, las cuales se pueden componer asegurándose de que todos los tubos y arandelas están colocados firmemente. Esos días también ayudaran a que el agua se de-clore. (Note que cada vez que quiera agregar agua al sistema, tiene que dejar reposar el agua por lo menos 24 horas, ya que el agua clorada puede matar o dañar la población microbiana y de peces.)

## Añadiendo vida a las celdas

### Celda 1: Vegetación flotante

La celda 1 contiene vegetación flotante tal como azolla y lemnaceae; algas conocidas como helecho de agua o lenteja de agua respectivamente. Estas algas son comunes en estanques y en tiendas donde se venden plantas acuáticas. La celda 1 actúa como refugio para estas plantas. En algún tiempo alcanzaran a cubrir la superficie de la celda, y una vez alcanzado este punto, algunas se pueden transferir a la celda 2 para que sirvan de alimento a los peces. Esto demuestra como este sistema es autónomo a través del tiempo, con peces que viven de las algas que el sistema produce. No importa cuál de las cuatro celdas deberá contener las plantas. Sin

embargo, es mejor no poner la bomba por aire en la celda donde están los peces, ya que pueden llegar a ser atrapados en la bomba.

### Celda 2: Peces

Deje esta celda vacía por el momento. Haga correr el agua por el sistema por algunos días antes de colocar los peces. Peces dorados de una tienda de mascotas son una buena opción ya que son baratos y resistentes una vez que sobreviven los primeros días. Sin embargo, peces demasiado pequeños pueden atorarse en los tubos. De preferencia, mezcle el agua del sistema poco a poco con los peces en un recipiente aparte, para ayudar a que los peces se aclimaten a su nuevo hogar.

### Celda 3: Plantas emergentes

Para la celda 3, escoja plantas que tienen raíces sumergidas y tallos. Algunos ejemplos incluyen las plantas conocidas como oreja de elefante, papiro, calas o alcatraces, y lirios acuáticos. Todos estos crecen bien y son fáciles de conseguir en lugares donde venden plantas acuáticas. Empiece con 2-5 tallos de cualquiera de estas plantas. Las raíces son también necesarias, ya que son la parte regenerativa de estas plantas.

### Celda 4. Cieno de estanque

Para la celda 4, colecte 2 a 3 tazas de cieno de estanque de algún estanque cercano, de ser posible con orillas pobladas por totora, juncos o zacates.

Otras configuraciones para añadir vida al sistema también son posibles, dependiendo de lo que desee hacer o ilustrar. (Ver sección de Modificaciones al sistema estándar.)

## Observaciones

Observaciones detalladas y organizadas de los sistemas y su progreso vivos generaran gran interés en los estudiantes. Una vez que el sistema está funcionando de forma estable y el gasto es razonable, los estudiantes pueden empezar a monitorear el número de plantas, tamaño de las hojas, tipos de insectos e invertebrados presentes, y la presencia o ausencia de caracoles u otros organismos o cambios que son posibles observar en el sistema.

El medir los niveles de nitrógeno es buena ayuda, especialmente en la celda de los peces. Paquetes baratos para medir niveles de nitrógeno se pueden adquirir de acuarios o tiendas donde se venden peces. Los más importantes son aquellos que miden los niveles de amonio, nitrito y nitrato. Amonio y nitrito

son tóxicos para los peces, pero si las condiciones existentes son buenas y hay bacterias nitrificantes, estas convertirán estos compuestos a nitrato, el que es menos tóxico para los peces y que es nutriente para las plantas. Estas determinaciones colorimétricas (los estudiantes comparan los colores del agua en un tubo de ensayo a una tira estándar de color) son fáciles de realizar. Observaciones regulares de niveles de amonio, nitrito y nitrato son muy instructivas para explicar a donde van a parar los residuos y de donde surgen los nutrientes en el sistema. Estas determinaciones se deben hacer a diario por un periodo de varias semanas.

Colectar los organismos vivos con los cuales se va a iniciar el sistema es una de las partes más divertidas de este proyecto. Tenga en mente que entre mayor sea la diversidad del sistema, la posibilidad de que el sistema funcione bien será mayor. Piense que está trasplantando ecosistemas miniatura a un nuevo hogar, y no que solamente esta coleccionando especímenes. Después de un cierto tiempo, poblaciones de insectos, algas y otras creaturas

aparecerán y desaparecerán. No es posible determinar, ni tampoco es deseable, el número exacto de organismos que estarán presentes, y este es una de las partes más interesantes de un sistema vivo. Diviértase, experimente, y no deje que un derrame ocasional le quite ánimo.

## Actividades e investigaciones

1. Observe el sistema a través del tiempo, anotando y dibujando los organismos en cada celda
2. use el sistema para cultivar langostino, camarón, peces u otras especies acuaticas
3. use el sistema para cultivo acuapónico (una combinación de cultivo de peces e hidropónico). La excreta de los peces provee el fertilizante necesario para el crecimiento de plantas, las cuales pueden ser flores o hortalizas (tomate y albahacar es una buena combinación).
4. Compare la habilidad de dos o más sistemas

## FAQ (preguntas más comunes) de Sistemas Vivos

### ¿Cuántas celdas?

Los sistemas deben tener un mínimo de tres celdas. Sistemas con ocho celdas o más son difíciles de operar.

### ¿Qué tan grandes deben ser las celdas?

El volumen mínimo es el volumen de una jarra grande de agua, aproximadamente 19 litros (5 galones)

### ¿Los sistemas deben ser diseñados por estudiantes o por maestros?

Cuando los estudiantes diseñan el sistema, tienen la oportunidad de ser creativos y de poner mas atención en el proyecto. Sin embargo, el permitir a los estudiantes que realicen el diseño requiere de más tiempo y los resultados pueden ser variados. Un compromiso bueno es dejar que los estudiantes seleccionen los contenedores y el plan de flujo entre ellos, y que el maestro ayude conectando las celdas,. Fugas de agua y conexión impropia de las celdas son los problemas más comunes.

### ¿Cómo se puede evitar que los organismos se pasen de una celda a otra?

Organismos pequeños deben de poderse mover de una celda a otra libremente para poder encontrar el nicho que mejor les acomode. Los peces se pueden mantener en una sola celda poniendo un pedazo de malla en la entrada de los tubos. Malla en la entrada a los tubos también reduce el número de caracoles que se congregan en los tubos (los caracoles, si se estan presentes, tienen a acumularse en los tubos. Con una malla que sea fácil de quitar y poner y un cepillo de tubo de ensayo a la mano, se pueden empujar los caracoles fuera de esos tubos.

### ¿Es mejor tener las celdas al mismo nivel o a niveles diferentes?

Cualquiera de estas opciones tiene sus ventajas y sus desventajas. Si se posicionan las celdas a niveles diferentes, el agua cae una distancia mayor y necesitara ser bombeada a una mayor altura, lo cual requiere mayor cantidad de energía. Energía para subir el agua la elevación necesaria cuando todas las celdas están al mismo nivel puede ser suministrada por una bomba de aire. El bombeo para una elevación mayor si las celdas están a diferentes niveles requerirá una bomba eléctrica. En este caso, se requerirá la instalación adicional de un aireador para suministrar el oxígeno requerido.

Un reto para los estudiantes es el de tratar de mover y airear el agua sin utilizar electricidad. Los estudiantes investigaran asi otras fuentes de energía, tales como energía producida por humanos o por viento, o revisitaran algunas maneras de almacenar energía que eran utilizadas antes de tener electricidad, tales como ruedas, contrapesos, y resortes.

### ¿Qué debo hacer con los habitantes de mi sistema cuando decido parar el sistema?

Si hay peces, encuentre a alguien que los quiera adoptar. Si hay especies invasivas, no las tire en canales o ríos. Consulte la agencia de agricultura más cercana para verificar si las especies están en la lista de especies invasivas o nocivas para su área.



similares para responder ante cierto contaminante o producto de desecho, tales como residuos orgánicos, amonio o fosfatos. Niveles de estos compuestos son fáciles de determinar utilizando determinaciones estándar de calidad de agua

**Desechos orgánicos:** la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) refleja la cantidad de nutriente orgánico en el agua que puede proveer el alimento a bacterias. A medida que las bacterias toman este alimento, también consumen oxígeno del agua y expelen bióxido de carbono. Esto resulta en un ambiente bajo en oxígeno que afecta negativamente y puede ser fatal para otros organismos acuáticos. La prueba de DBO mide la cantidad de oxígeno que ha desaparecido del agua durante un periodo de tiempo específico y asume que de estar presente una cantidad mayor de alimento ocasionaría un descenso en el oxígeno disuelto en el agua. Valores muy altos de DBO generalmente se relacionan con aguas de desecho (aguas negras), corrales de engorda, escurrimientos de zonas urbanas, y desechos de otros procesos agrícolas o industriales. En este estudio, una sustancia para representar este tipo de desecho es leche en polvo reconstituida; es relativamente barata y se puede preparar en una gran variedad de concentraciones.

**Amonio:** Amonio es el producto de desecho de muchos animales acuáticos. Cuando su concentración es elevada, es toxico, y puede causar la muerte de especies acuáticas. Ecosistemas saludables contienen bacterias que transforman el amonio a nitratos, los cuales son menos tóxicos. Dos sistemas diferentes de recirculación se pueden comparar entre sí en cuanto a su habilidad de transformar cantidades pequeñas de amonio.

**Fosfatos:** Los fosfatos generalmente se encuentran en fertilizantes y escurrimientos de zonas urbanas. Un exceso de fosfatos en el cuerpo de agua resulta en eutroficación, donde hay una explosión súbita de plantas (algas), seguida de muerte de estas y estado de descomposición. Esta descomposición la llevan a cabo hongos y bacterias, resultando en una reducción total de oxígeno. Los estudiantes pueden comparar la habilidad de sistemas recirculantes similares para absorber una carga puntual de fosfato.

5. compare dos sistemas estándar en los cuales la única diferencia es el gasto. Use un aireador en uno y una bomba eléctrica mas potente en el otro.

6. investigue el efecto de biodiversidad en la habilidad del sistema de responder al estrés. En dos sistemas con configuración idéntica de celdas, gasto, volumen, y tipo de boba. Diseñe uno de estos

sistemas como “sistema de vida plena” y equípelo con muchas variedades de organismos vivos, incluyendo diferentes tipos de plantas, y suelo y cieno provenientes de diferentes lugares y condiciones. En el otro sistema, o “sistema modificado”, ponga peces, arena previamente esterilizada (colóquela en un horno por una hora a 400°C) y plantas a las cuales se ha enjuagado sus raíces con el chorro de una manguera. Tome regularmente muestras frecuentes de cada uno de estos sistemas y mida el amonio, nitritos y nitratos. La determinación de pH puede ser interesante también. Luego de las observaciones iniciales, introduzca algún tipo de estrés a cada sistema. Por ejemplo, puede detener temporalmente el flujo de aireación, tapar la luz, añadir algún contaminante, u otro cambio en ambos sistemas. Continúe haciendo mediciones y monitoreando los sistemas. Note que este es un experimento a largo plazo que necesita de dos semanas a tres meses para llevarse a cabo.

## Modificaciones

- Incluya celdas que imiten otros tipos de entornos naturales, tales como suelo selvático, desierto, humedal, o playa. Provea algunas celdas que contengan gran cantidad de “escondites” para los organismos acuáticos. Utilice celdas de tamaños y formas variadas, algunas más anchas y bajas, algunas más profundas. Incluya una celda con una bomba conectada a un reloj automático para simular una “zona de rocío” en una costa rocosa o la orilla de un lago.
- Cree un sistema con celdas que se llenen y vacíen periódicamente, imitando así el cambio de niveles naturales en humedales y zonas de marea baja, salinas o estuarios. El sistema puede beneficiarse con el uso de cubetas que se viertan por si solas, tal como lo describe Adey.
- Incluya una celda anoxica/anaeróbica para la descomposición acelerada de residuos o composta. En este caso, instalar una trampa para olores puede ser una buena idea. Esta consiste en una malla cubierta de pedacitos de cedro que absorban los olores provenientes de esta celda.
- Desarrolle un sistema que cambie gasto dependiendo si esta soleado u oscuro. Por ejemplo, un sistema que usa aireador todo el tiempo, pero adicionalmente aumenta su gasto durante el dia por medio de una bomba equipada con una fuente de energía solar.
- Construya un sistema con “atrio” instalándolo en un lugar prominente que provea el sonido de agua

corriendo y este rodeado con material de exhibición dedicado a interacciones ecológicas.

---

**Mark Heffer** enseña biología a nivel preparatoria en Vermont. Cursó su grado de maestría en “Maquinas Vivas” con el Dr. John Todd en la Universidad de Vermont, y previamente enseñó cursos de biología y ciencias ambientales a nivel preparatoria en Waterloo, Ontario.

Melida Guitierrez es profesora de geología de la Universidad del Estado Missouri.