

La física y la gestión sostenible del agua residual. Una mirada integral a un problema de ingeniería

Physics and the sustainable management of residual water. A comprehensive look at an engineering problem

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Carlos José Suárez¹, Susana Noemí Roldán¹ y Fabián Rodolfo Gon¹

¹Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, Lavalse 610. CP 3000, Santa Fe. Argentina.

E-mail: suarez_cj@yahoo.com.ar

Resumen

Desde la década de los años setenta se vienen desarrollando en diversos países experiencias de investigación e implementación de sistemas de saneamiento sostenibles. Para ello es menester que las aguas residuales generadas sean tratadas hasta niveles que no afecten al medio ambiente al que son vertidas y para conseguir un tratamiento sostenible, es necesario llevar a cabo un proyecto que aborde el desarrollo de un proceso de tratamiento biológico de aguas residuales con bajo consumo energético e impacto medioambiental. Presentamos una propuesta aún no implementada que integra conocimientos desde las ciencias básicas, avanzando hasta los conceptos proporcionados por la Ingeniería Sanitaria, en el último año de la carrera Ingeniería Civil. Trabajaremos particularmente con los alumnos del último nivel de la carrera. Desde la física aportaremos el estudio de las propiedades físicas de las muestras obtenidas y el análisis del comportamiento del fluido en estudio.

Palabras clave: Saneamiento; Desarrollo sostenible; Aguas residuales; Comportamiento de los fluidos; Propiedades físicas.

Abstract

Experiences of research and implementation of sustainable sanitation systems have been developed in several countries since the 70's. For this, it is necessary that the wastewater generated be treated to levels that do not affect the environment to which they are dumped and to achieve a sustainable treatment, it is necessary to carry out a project that addresses the development of a process of biological treatment of waste water with low energy consumption and environmental impact. We present a proposal not yet implemented that integrates knowledge from the basic sciences, advancing to the concepts provided by the Sanitary Engineering, in the last year of the Civil Engineering career. We will work particularly with the students of the last level of the race. From physics we will contribute the study of the physical properties of the samples obtained and the analysis of the behavior of the fluid under study.

Keywords: Sanitation; Sustainable development; Sewage water; Behavior of fluids; Physical properties.

I. INTRODUCCIÓN

El último informe de la Unesco advierte que más del 80% de las aguas residuales del mundo regresa a la naturaleza sin haber sido tratada. Esto resulta especialmente marcado en las naciones de bajos ingresos donde sólo se trata un 8% de las aguas residuales domésticas e industriales, un porcentaje muy escaso si se compara con el 70% registrado en los países de ingresos altos. Debido a esa falta de tratamiento, en muchas regiones del mundo se vierten aguas residuales contaminadas por bacterias, nitratos, fosfatos y disolventes en lagos y ríos que van a parar al mar, con las consiguientes repercusiones negativas para el medio ambiente y la salud pública.

El incremento en la generación de aguas residuales ha obligado a la ingeniería a buscar, encontrar y aplicar alternativas de tratamiento de depuración eficientes, autónomas, y económicamente viables. Entre las soluciones más atractivas se encuentran los tratamientos que emulan los fenómenos que ocurren espontáneamente en la naturaleza.

De este modo se implementan sistemas naturales de tratado de materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes, sales, metales pesados y organismos patógenos, mediante sistemas que utilizan macrófitas acuáticas como filtradoras de estos elementos, resultando efluentes de alta calidad y a un buen costo.

En este trabajo queremos dar a conocer y promover, en principio en nuestra comunidad educativa, la marcada importancia del tratamiento de efluentes y del cuidado del agua, e impulsar a nuestros ingenieros a adquirir los conocimientos necesarios para lograr, de manera adecuada, el desarrollo sustentable; y así resaltar la relevancia del rol del ingeniero en la sociedad.

Desde las ciencias básicas, aportamos los conceptos esenciales para la posterior formación específica en cada carrera; y, desde la física, aportamos a las especialidades fundamentos para el planteo y la resolución de diversos problemas de ingeniería.

II. GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES

La gestión mejorada de las aguas residuales no solo es crucial para lograr el Objetivo de Desarrollo Sostenible sobre agua potable y saneamiento (ODS 6), sino también para la consecución de otros objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Es imperioso modificar nuestro punto de vista y considerar que las ingentes cantidades de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales vertidas a diario en el medio ambiente constituyen un recurso valioso, en vez de un problema oneroso (WWAP, 2017).

Bajo la denominación de sistema natural de depuración se engloban aquellos procedimientos o técnicas en los que la eliminación de las sustancias contaminantes presentes en las aguas residuales urbanas se produce por componentes del medio natural, no empleándose en el proceso ningún tipo de aditivo químico. Habitualmente se diferencian dos grandes grupos de técnicas de depuración natural: los métodos de tratamiento mediante aplicación del agua sobre el terreno, y los sistemas acuáticos. En todos ellos, el efecto depurador se debe a la acción combinada de la vegetación, del suelo y de los microorganismos presentes en ambos, y en menor medida, a la acción de plantas y animales superiores.

Hasta los años cincuenta la principal finalidad de estos métodos era la eliminación de efluentes, mediante un sistema barato y técnicamente simple, o el aprovechamiento de éstos para regadío. Posteriormente, se comenzó a aplicar esta técnica como sistema alternativo de depuración, como un mecanismo eficaz de regulación de los recursos hídricos en zonas altamente deficitarias e incluso, en determinados casos, como sistema para crear barreras hidráulicas y combatir la intrusión marina (Mantecón Gómez y otros, 1991). Estos métodos se han puesto de actualidad con la aparición y divulgación del concepto *vertido de contaminación cero* o *vertido cero*.

Los procedimientos naturales, en general, demandan poco personal de mantenimiento y consumo energético, y producen pocos fangos. Sin embargo, y esto suele ser un factor limitante, requieren mayor superficie de terreno disponible que los métodos convencionales (entre 4 y 40 m²/habitante equivalente) lo que limita su uso a pequeños núcleos de población donde la presión urbanística es menor. El segundo factor limitante es que estos sistemas solo pueden ser empleados con éxito para determinado tipo de vertidos, pues han de ser totalmente degradables. Si las sustancias vertidas o sus productos de degradación, dejan restos tóxicos o peligrosos en el suelo o el agua, deben ser eliminados previamente al tratamiento natural, pues si no es así, se corre el riesgo de inducir un proceso de envenenamiento del sistema depurador con la consiguiente contaminación del medio receptor. En general esto limita el tipo de vertido a aguas sin componente industrial o si esta existe, a aguas cuya naturaleza sea en todo asimilable a un vertido urbano. Entre los métodos de tratamiento en el terreno se incluyen habitualmente los siguientes tipos:

- Filtro verde;
- Infiltración rápida;
- Escorrentía superficial;
- Lechos de turba;
- Lechos de arena.

El rasgo común a todos ellos es que la depuración se consigue a través de los procesos físicos, químicos y biológicos naturales, desarrollados en un sistema planta–suelo–agua. El avance en el conocimiento de los mecanismos de dichos procesos ha permitido desarrollar criterios científicos de diseño y operación para estos sistemas de depuración. Los llamados métodos acuáticos se basan en la creación de un flujo controlado de agua residual, en el que microorganismos y plantas, principalmente, transforman los contaminantes. Incluyen tres tipos básicos:

- Lagunajes;
- Humedales;
- Cultivos acuáticos.

Estos últimos se han desarrollado como una variante del lagunaje convencional, aprovechando la captación de nutrientes por las plantas, lo que mejora los rendimientos de las lagunas de estabilización. Estos métodos acuáticos, en general, se proyectan para un flujo continuo con descarga a ríos o lagos próximos. Su sistema de operación puede ser estacional o anual, en función del clima, o de los objetivos de tratamiento. El lagunaje consiste en depurar aguas residuales en estanques impermeables con ayuda de microorganismos, de algas o plantas acuáticas. Es un tratamiento biológico, es decir ecológico, respetuoso con el medio ambiente, facilitado por las radiaciones solares. Constituye una alternativa fiable, interesante y bastante poco costosa al tratamiento más clásico y fisicoquímico de las estaciones depuradoras habituales y resulta aún más eficaz para la eliminación de sustancias patógenas (Romero Rojas, 2003).

Las instalaciones de lagunaje permiten optimizar el tratamiento de la contaminación que, en vez de asfixiar la naturaleza, la alimentan. Están constituidas por estanques artificiales que pueden usarse por separado pero más a menudo en serie para mejorar su eficacia.

Consiste en distribuir las aguas residuales a una velocidad muy lenta en una serie de estanques impermeables dimensionados de modo que el agua se quede durante unos días, incluso semanas.

La particularidad es que en estos estanques viven bacterias que tienen la capacidad y el tiempo de degradar los contaminantes sin intervención exterior. Esta degradación de materias orgánicas en materias minerales (CO₂, agua, nitratos y fosfatos) se hace de forma natural y biológica y de forma anaerobia (ausencia de oxígeno) o aerobia (presencia de oxígeno) según los estanques.

Para mejorar su eficacia suele procederse al uso de plantas como microalgas o lechugas de agua (microfitos), y vegetales flotantes o plantados como las lentejas de agua y los camalotes (macrófitas) que tienen muchas capacidades naturales de depuración.

Las lagunas de macrófitas son muy eficaces para el tratamiento de las aguas cargadas de sólidos y fósforo. Las de microfitos convienen mejor para aguas que contienen elementos patógenos susceptibles de provocar enfermedades.

En resumen, se implementan sistemas naturales de tratado de materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes, sales, metales pesados y organismos patógenos, mediante sistemas que utilizan macrófitas acuáticas como filtradoras de estos elementos, resultando efluentes de alta calidad y a un buen costo.

Es importante abordar la planificación de las diferentes construcciones que se realizan en una ciudad tomando en cuenta los tres pilares del desarrollo sustentable, que son base del urbanismo verde: energía y materiales; agua y biodiversidad; y planeamiento urbano y transporte

El empleo de humedales se enmarca en el segundo pilar mencionado y pretendemos instalar en la agenda esta práctica y estudiar las ventajas y desventajas de su implementación.

La *International Water Association* (IWA) define un humedal como una zona inundada o saturada, bien sea por aguas superficiales o por aguas subterráneas y con una frecuencia, duración y profundidad superficiales para mantener especies de plantas predominantemente adaptadas a crecer en suelos saturados (Vymazal y otros, 2000). En estos humedales se da una actuación simultánea y complementaria de las plantas superiores y los microorganismos que favorece la degradación de la materia orgánica.

En particular, los humedales artificiales son sistemas de tratamiento de aguas residuales diseñados para replicar las funciones naturales de depuración de agua de los humedales naturales. Existen diversas clasificaciones para la identificación de humedales artificiales. Vymazal y otros (2000) sugieren una clasificación de acuerdo a las características del material vegetativo predominante en los lechos, así:

- Humedales basados en macrófitas flotantes, Ej.: *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor*;
- Humedales basados en macrófitas de hojas flotantes. Ej.: *Nymphaea alba*, *Potamogeton gramineus*;
- Humedales con macrófitas sumergidas, Ej.: *Littorella uniflora*, *Potamogeton crispus*;
- Humedales con macrófitas emergentes, Ej.: *Thypha latifolia*, *Phragmites australis*.

Según el régimen de flujo de agua, pueden clasificarse en:

- Flujo Superficial: opción más sencilla y de menor costo;
- Flujo Sub-superficial horizontal: opción más difundida y óptima a nivel domiciliario;
- Flujo Sub-superficial vertical: opción más compleja y requiere de un sistema de bombeo.

Para nuestro trabajo experimental, proponemos la implementación de situaciones similares a las que surgirían en un humedal artificial, de flujo sub-superficial, con plantas macrófitas flotantes de la especie *Lemna Minnor*, lentejas de agua y *Eichhornia crassipes*, camalotes, empleando material efluente de dos lagunas de la zona.

III. OBJETIVOS Y FINALIDAD DE LA PROPUESTA

Pretendemos dar a conocer y promover, en principio en nuestra comunidad educativa, la importancia del tratamiento de efluentes y del cuidado del agua, e impulsar a nuestros ingenieros a adquirir los conocimientos necesarios para favorecer el desarrollo sustentable. Los objetivos específicos son:

- Estudiar las propiedades físicas de las muestras obtenidas;
- Analizar el comportamiento del fluido en estudio;
- Evaluar la calidad de los efluentes de dos plantas seleccionadas;
- Determinar, en condiciones controladas de laboratorio, la eficiencia de los medios orgánicos escogidos.

IV. METODOLOGÍA

Debido a que el proyecto es integrador de conocimientos, existen dos etapas bien marcadas en las que se estructura el trabajo. Una de ellas consiste en recuperar con los alumnos del último nivel de la carrera Ingeniería Civil, los conceptos adquiridos en primer nivel, en Física I, en especial lo atinente a estática y dinámica de los fluidos. En una segunda etapa, los conceptos en juego se refieren a aspectos trabajados en el quinto nivel de la carrera mencionada, específicamente en la asignatura Ingeniería Sanitaria. Luego de las clases teóricas acerca de la temática particular de la primera etapa, se realizará práctica áulica refiriendo a situaciones problemáticas que se asemejen a la labor experimental a desarrollar.

La fase experimental se iniciará con la toma de muestras del efluente en las plantas de tratamiento de aguas residuales (AR): a la entrada y la salida del tratamiento primario; a la salida del tratamiento secundario; y también a la salida del tratamiento terciario con plantas acuáticas, ya que los humedales artificiales de flujo superficial (HAFS) suelen ser empleados a modo de tratamiento terciario.

Dado que las aguas afluentes poseen, por lo general, características muy variadas según el grado de depuración alcanzado en las etapas previas, se han adoptado para el diseño experimental del estudio las siguientes variables: la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), el carbono orgánico total (COT), y las concentraciones de nitrógeno y de fósforo. Como parámetros adicionales –opcionales– se proponen el pH y la temperatura, con la finalidad de mostrar los rendimientos que se alcanzan en este tipo de humedales.

Las cargas hidráulicas anuales y las necesidades específicas de superficie de los sistemas de plantas flotantes son similares a las de los sistemas de humedales. El clima es un factor limitativo en su rendimiento, ya que las plantas sólo crecen a determinadas temperaturas. Estos cultivos acuáticos suelen utilizarse como sistema de afino incorporados a otra cadena de procesos, empleándose generalmente como tratamiento terciario. En operaciones bien controladas, en las que las plantas se cosechan periódicamente, se pueden alcanzar rendimientos altos en la depuración. La carga orgánica admitida por estos procesos es del orden de 30 a 50 kg/ha/día, lo que para aguas de moderada carga contaminante ($DBO_5 < 240$ mg/l), significa una carga hidráulica del orden de 6 m/año.

Asimismo, se irán determinando en laboratorio las propiedades físicas de los fluidos en estudio, tales como: densidad, viscosidad absoluta, volumen específico, peso específico. También hallaremos el valor de las fuerzas aplicadas sobre las paredes y la base del recipiente, así como las presiones desarrolladas, aplicaremos principio de Pascal, principio de Arquímedes y ley de Bernoulli, para analizar comportamiento del fluido y empuje sobre las especies acuáticas macrófitas.

A. Puesta en marcha y actividades

Para dar inicio al procedimiento experimental, seleccionadas las macrófitas, se confeccionarán cuatro acuarios, con capacidad de 84 litros, de 70x40x30, con vidrio de 5mm, según figura 1.

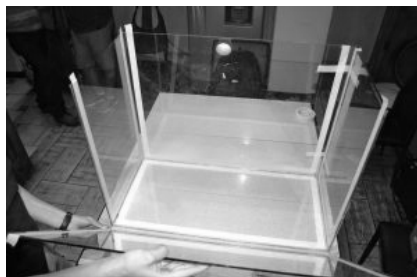


FIGURA 1. Armado de un acuario en el laboratorio, con cuidado de la estanqueidad y dimensiones necesarias.

En cuanto a las macrófitas escogidas, trabajaremos con las denominadas “lentejas de agua”, nombre común con el que se conoce la planta acuática *Spirodela polyrhiza*, una pequeña planta que flota libre sobre las superficies de aguas estancadas, de la especie *Lemna Minnor*, Figura 2 y con los denominados “camalotes”, *Eichhornia crassipes*, Figura 3.



FIGURA 2. Lentejas de agua (*Lemna minnor*), macrófitas flotantes correspondientes a nuestra zona de influencia.



FIGURA 3. Camalotes (*Eichhornia crassipes*), macrófitas flotantes correspondientes a nuestra zona de influencia.

Una vez instalados los acuarios, se procederá a la toma de muestras de AR de la planta de tratamiento de líquidos cloacales de la vecina ciudad de Santo Tomé, para efectuar los estudios en laboratorio, y con estos datos efectuar el trabajo de gabinete.

Con el efluente proveniente del tratamiento secundario, se hará ingresar lentamente el AR al acuario por un tubo adosado a una de las paredes del mismo, manteniendo las condiciones de los humedales de flujo superficial.

Se colocarán las especies de macrófitas en cada uno de los acuarios. Las plantas acuáticas tienen por función soportar componentes del ambiente acuático que mejora la capacidad y confiabilidad del tratamiento de aguas residuales.

En el día se harán 3 mediciones de las condiciones del fluido en el acuario, teniendo en cuenta las variaciones de temperatura durante una jornada. Cada 6–8 días se analizarán las variables mencionadas en las AR de los acuarios y se analizará el desempeño de cada variedad de plantas acuáticas.

Los tratamientos con plantas acuáticas se han desarrollado como una variante del lagunaje convencional, aprovechando la captación de nutrientes por las plantas, lo que mejora los rendimientos de las lagunas de estabilización. Estos métodos acuáticos, en general, se proyectan para un flujo continuo con descarga a ríos o lagos próximos. Su sistema de operación puede ser estacional o anual, en función del clima o de los objetivos de tratamiento.

Los cultivos acuáticos o sistemas de plantas acuáticas flotantes son básicamente una variante de los HAFS, en la que se introduce un cultivo de plantas flotantes, como los camalotes o las lentejas de agua, cuya finalidad principal es la eliminación de determinados componentes de las aguas a través de sus raíces, responsables de una parte importante del tratamiento.

Contrastaremos el comportamiento de las especies seleccionadas y analizaremos en qué caso se obtiene mayor eficiencia, para visibilizar la relevancia de la implementación de sistemas de saneamiento sostenibles.

Desde la física aportaremos el estudio de las propiedades físicas de los efluentes. Estudiaremos además la presión ejercida por el fluido en los acuarios, tanto en la base como en las paredes y analizaremos las condiciones de ingreso y egreso del efluente en los mismos. Observaremos las condiciones de las macrófitas en los recipientes y calcularemos los empujes que estas experimentan.

V. CONTRIBUCIÓN A LA FORMACIÓN DE RECURSOS

Nuestra propuesta integra los conocimientos de las ciencias básicas, avanzando hasta los conceptos aportados por la Ingeniería Sanitaria, en el último año de la carrera Ingeniería Civil. Avanzaremos en el estudio de la calidad de los efluentes de las plantas seleccionadas, análisis de su eficiencia y obtención de una propuesta de tratamiento final que resulte beneficiosa a la comunidad.

La formación de ingenieros con una visión integral y no parcial de las competencias adquiridas a lo largo de su formación académica, resulta imprescindible; por lo que aspiramos a que desde todas las áreas de las carreras de ingeniería, particularmente la Ingeniería Civil, se haga visible esta necesidad.

Asimismo valoramos la formación de los propios docentes integrantes del proyecto, en su faceta académica así como profesional.

VI. PLANTEO DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA

La puesta en práctica de una propuesta didáctica integradora no está exenta de dificultades. Requiere un profundo cambio de la práctica habitual del docente, que, en general, no está suficientemente preparado o motivado para llevarla a cabo en el aula (Wenning, 2005a). Exige además el diseño de una secuencia de actividades apropiadas que, a diferencia de los habituales libros de texto, se concibe como un material en revisión permanente, conforme a las características del contexto donde va a ser implementada. A ello hay que añadir el hecho de acostumbrar al alumnado a la nueva metodología. Supone un cambio significativo respecto a la enseñanza habitual, que precisa del profesor una importante labor de planificación y motivación del alumnado. Todos estos aspectos suelen provocar cierta resistencia entre los docentes hacia el planteamiento didáctico descrito (Wenning, 2005b).

A. Ideas propuestas

Teniendo en cuenta lo anterior, pensamos generar en una primera etapa una secuencia de actividades dedicadas al estudio de nociones de hidrostática; concretamente, sobre la ley fundamental de la hidrostática y el principio de Arquímedes. La comprensión de los alumnos sobre fenómenos hidrostáticos ha sido objeto de numerosos estudios en los últimos años, los cuales han constituido un referente importante en el diseño de la primera parte de nuestra secuencia de enseñanza.

Proponemos introducir el concepto de presión como una fuerza por unidad de superficie, comenzando su análisis con objetos sólidos,

$$p = \frac{F}{S} \quad (1)$$

siendo: p, presión; F, fuerza; S, superficie.

Posteriormente, ampliaremos el concepto al interior de los líquidos (presión hidrostática). Con la finalidad de que los alumnos entiendan que los líquidos ejercen fuerzas sobre las paredes de sus recipientes y sobre los cuerpos sumergidos en ellos; por tanto, que en el interior de los líquidos también existen presiones. En este contexto, pretendemos también que los alumnos comprendan por qué en los fluidos suele ser más útil manejar el concepto de presión que el de fuerza. Para aclarar la diferencia entre fuerza y presión, intentaremos poner de manifiesto que las fuerzas son ejercidas a lo largo de una sola dirección (magnitud vectorial), mientras que la presión en un líquido es ejercida por igual en todas las direcciones (magnitud escalar).

Respecto al principio fundamental de la hidrostática, pretendemos que los alumnos entiendan que la presión hidrostática no es una propiedad de los líquidos, sino una consecuencia de su interacción con el campo gravitatorio. Primero, intentaremos que los alumnos se familiaricen con la fórmula del peso de un líquido, normalmente expresado en función de la densidad y volumen:

$$peso = \rho.V.g, \quad (2)$$

por las características particulares de un líquido (no tiene forma propia y se adapta al recipiente que lo contiene). Luego, partiendo de esa expresión, de la fórmula general de la presión, y de una sencilla operación matemática, procuraremos que los alumnos lleguen a la ecuación fundamental de la hidrostática:

$$p = \rho.g.h \quad (3)$$

El objetivo final es que concluyan que la presión, a una determinada profundidad en un líquido, sólo depende del valor de la misma altura (h), de la densidad del líquido (ρ), y de la aceleración de la gravedad (g). Por tanto, que no depende de la cantidad de líquido ni de la forma del recipiente.

También haremos hincapié en que la ecuación fundamental de la hidrostática no invalida la expresión general de la presión en los líquidos. Nuestra intención es que los alumnos comprendan que ambas expresiones son igualmente válidas, y que la idoneidad de cada una depende del contexto o característica de cada situación analizada.

Por último, introduciremos el principio de Arquímedes. La secuencia comenzará intentando que deduzcan la existencia del empuje en los líquidos. Se les incitará a que emitan hipótesis sobre la(s) causa(s) de dicha fuerza, y sobre la relación de la cantidad de líquido desplazada con el cuerpo sumergido. También, que diseñen y realicen alguna experiencia sencilla para comprobar sus hipótesis. Pretendemos que los alumnos entiendan que el principio de Arquímedes es una consecuencia del principio fundamental de la hidrostática, y que el empuje resulta de un balance de fuerzas, a causa de la diferencia de presión hidrostática entre la parte superior e inferior del cuerpo sumergido. Por tanto, que el empuje es una fuerza ascensional que reciben los cuerpos sumergidos, total o parcialmente, en líquidos, y cuya magnitud sólo depende de la densidad del líquido, de la porción de cuerpo sumergida y de la gravedad.

La tabla 1 muestra una síntesis de algunas de las concepciones alternativas más frecuentes de los alumnos, en relación con el tópico. Al introducir cada concepto exploraremos las ideas de los alumnos; luego, propondremos actividades para que contrasten esas ideas (comprobación de hipótesis), y, por último, plantaremos otras dirigidas a que revisen y reflexionen sobre lo aprendido oportunamente en el primer nivel de la carrera.

TABLA I. Síntesis de las ideas alternativas más frecuentes relacionadas con la ley fundamental de la hidrostática y el principio de Arquímedes.

<i>Concepciones alternativas</i>	<i>Referencias en la literatura</i>
No se asume la existencia de una fuerza ascensional (empuje) en los fluidos	Mazzitelli y otros (2006)
El volumen de líquido desplazado por un cuerpo sumergido depende de la forma, la masa o la densidad de un sólido y no de su volumen	Fernández (1985, 1987); Loverude, Kautz y Heron (2003); Mazzitelli y otros (2006)
No se reconoce el papel del volumen desplazado en la determinación del empuje de un fluido	Loverude, Kautz y Heron (2003)
No se establece la relación entre el Principio de Arquímedes y el Principio fundamental de la hidrostática	Kariotogloy, Koumaras y Psillos (1993); Mazzitelli y otros (2006)
La presión de un cuerpo sumergido en un líquido depende de la cantidad (volumen) de líquido que dicho cuerpo tiene encima	Besson (2004); Psillos y Kariotogloy (1999)
La presión hidrostática ejercida por un líquido en el fondo del recipiente que lo contiene, depende de la forma de dicho recipiente (paradoja hidrostática)	Fontana y Di Capua (2005)
Se cree que la profundidad a la que se encuentra un objeto en un fluido influye en el empuje que recibe de este último	Loverude, Kautz y Heron (2003)
Los conceptos de masa, volumen, peso y densidad, son considerados como sinónimos	American Institute of Physics (AIP) (1998); Loverude, Kautz y Heron (2003); Stavy (1990)
El término presión es sinónimo de fuerza	AIP (1998); Besson (2004); Kariotogloy, Koumaras y Psillos (1993); Maturano y otros (2005); Psillos y Kariotogloy (1999)
La presión de los líquidos sólo actúa verticalmente y hacia abajo	AIP (1998); Kariotogloy, Koumaras y Psillos (1993)

Si bien esta propuesta será presentada a los alumnos que estén cursando Ingeniería Sanitaria, este instrumento se aplicará también a los estudiantes que estén cursando Física en el primer nivel de la carrera. Los estudiantes del último nivel tendrán además otras actividades experimentales y de gabinete a desarrollar.

Cabe agregar que esta secuencia didáctica formará parte de los instrumentos propuestos en un proyecto de investigación sujeto a evaluación.

VII. CONCLUSIONES

Los resultados satisfactorios de investigaciones anteriores de otros autores nos motivan a seguir profundizando en el diseño y evaluación de nuevas propuestas de enseñanza, y resultan un buen augurio para esta que pretendemos implementar.

Como nuestro estudio propone dos etapas bien diferenciadas, recuperar al inicio los conceptos adquiridos en primer nivel, en Física I, en especial lo atinente a estática y dinámica de los fluidos, observamos en un pre-diagnóstico que en general los alumnos poseen ideas bastante claras acerca de la temática mencionada. En cuanto a los conceptos de Ingeniería Sanitaria, se ha observado en charlas informales con los alumnos una marcada aceptación al empleo de soluciones de ingeniería que presenten alternativas sostenibles, de bajos costos de operación y mantenimiento, que facilitarían la implementación en núcleos sociales con bajos recursos económicos.

REFERENCIAS

- Mantecón Gómez R., Martín Machuca, M. y Cantos Robles R. (1991). Depuración de aguas residuales de origen urbano mediante técnicas de infiltración rápida en el suelo. *III Simposio del Agua en Andalucía*, Vol. II, 391–401.
- Romero Rojas, J. (2003). *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización*. Méjico: Alfaomega.
- Vymazal, J., Kadlec, R., Knight, R., Brix, H., Cooper, P. y Haberl, R. (2000). *Constructed Wetlands for Pollution Control*. Madrid: Espasa Calpe.
- Wenning, C. J. (2005a). Implementing inquiry-based instruction in the science classroom: A new model for solving the improvement-of-practice problem. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 2(4), 9–15. <http://www.phy.ilstu.edu/jpteo> Sitio consultado en junio de 2017.
- Wenning, C. J. (2005b). Minimizing resistance to inquiry oriented science instruction: The importance of climate setting. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 3(2), 10–15. <http://www.phy.ilstu.edu/jpteo> Sitio consultado en junio de 2017.
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO.