

Cultivando física y matemática: ciencias exactas y naturales aplicadas al desarrollo de una huerta agroecológica y comunitaria

Cultivating physics and mathematics: exact and
natural sciences applied to the development of an
agroecological and community vegetable garden.

Virginia Lamarre^{1,2*} y Sandra Analía Hernández^{2,3}

¹Profesora en Física, ex Docente de Bachillerato para Adultos, Docente de Escuelas Medias, Distrito de San Isidro, Buenos Aires, Argentina.

²Gabinete de Didáctica de la Química, Departamento de Química, Universidad Nacional del Sur (UNS), Avenida Alem 1253, CP B8000CPB, Bahía Blanca, Argentina.

³Instituto de Química del Sur (INQUISUR), Universidad Nacional del Sur (UNS)-CONICET, Avenida Alem 1253, CP B8000CPB, Bahía Blanca, Argentina.

*E-mail: virelmar@gmail.com

Recibido el 15 de octubre de 2020 | Aceptado el 11 de noviembre de 2020

Resumen

Este trabajo propone redescubrir la enseñanza de las materias Física y Matemática a partir del planteamiento inicial de situaciones problemáticas identificadas en el desarrollo de un proyecto productivo sustentable, en un Bachillerato para Adultos con orientación humanística del conurbano bonaerense. Partiendo del extrañamiento inicial respecto a las ciencias exactas y jerarquizando la duda y la curiosidad como aspectos inherentes al ser humano, se establecen los puntos de anclaje entre la vida real observada y percibida, las necesidades cotidianas, individuales y barriales, y los contenidos curriculares de ambas disciplinas. La elección de la huerta agroecológica, cuyo desarrollo implica el trabajo interdisciplinario entre las ciencias exactas y naturales, sociales y humanísticas, se realizó de manera colectiva, respondiendo a necesidades socioeconómicas del barrio. Mediante la observación, la formulación de preguntas, elección de variables y sus relaciones algebraicas y la práctica en constante relación con la construcción de nuevas categorías semánticas, se promueve la resignificación del saber, el aprendizaje investigativo, la interacción solidaria y crítica y la creación de alternativas productivas y de desarrollo territorial y humano, llegando a abordar, desde inquietudes concretas, niveles de conceptualización abstractos.

Palabras clave: Física educativa; Ciencias Exactas y Naturales en interdisciplina; Enfoque Ciencia Tecnología y Sociedad; Proyecto productivo creativo; Huerta.

Abstract

This paper proposes to rediscover the teaching of the subjects Physics and Mathematics from the initial approach of problem situations identified in the development of a sustainable productive project, in a Baccalaureate for Adults with humanistic orientation from the Buenos Aires conurbation. Starting from the initial estrangement from the exact sciences and prioritizing doubt and curiosity as inherent aspects of the human being, the points of anchor are established between observed and perceived real life, daily needs, individual and neighborhood, and the curricular content of both disciplines. The choice of the agro-ecological

garden, whose development involves interdisciplinary work between the exact and natural sciences, social and humanistic, was made in a collective manner, responding to the neighborhood's socio-economic needs. Through observation, the formulation of questions, the choice of variables and their algebraic relations and the practice in constant relation to the construction of new semantic categories, we promote the resignation of knowledge, research learning, solidarity and critical interaction and the creation of productive alternatives and territorial and human development, addressing, from concrete concerns, levels of abstract conceptualization.

Keywords: Educational physics; Natural and Exact Sciences in interdiscipline; CTSA approach; Creative production project; vegetable garden.

I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de contextualizar nuestras prácticas educativas e incorporar la dimensión Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA) ha sido puesta en consideración en numerosos trabajos (Acevedo-Díaz, 2004, Aikenhead, 2005; Membiela y Padilla, 2005; Solbes, Vilches y Gil, 2001; Solbes y Vilches, 2004) que enfatizan la naturaleza social del conocimiento. Al respecto, Meroni, Copello y Paredes (2015) puntualizan que: *“así, aprendemos en relación con otras personas, a través de prácticas sociales, en situaciones reales y auténticas, mediante actividades que se realizan en un determinado contexto y cultura que le dan significado”*.

Acerca de las problemáticas de la realidad y su estudio, Rolando García (2011) expone que:

El punto de partida es el reconocimiento de que hay problemáticas complejas (o situaciones complejas) determinadas por la confluencia de múltiples factores que interactúan de tal manera que no son aislables y que, por consiguiente, no pueden ser descriptos y explicados “sumando” simplemente enfoques parciales de distintos especialistas que los estudien de forma independiente. De aquí ha surgido la afirmación de que la realidad misma es interdisciplinaria. Sería más correcto decir que “la realidad no es disciplinaria” entendiéndolo por tal que la realidad no presenta sus problemas cuidadosamente clasificados en correspondencia con las disciplinas que han ido surgiendo en la historia de la ciencia. (p.66)

Por su parte, la Teoría de los Sistemas Complejos formulada por García, enfatiza la noción de interdisciplina como proceso. En la investigación interdisciplinaria de sistemas complejos *“la articulación entre las disciplinas comienza en el mismo punto de partida de la investigación”* (García, 2006, p. 105) y *“es condición de posibilidad para delimitar y construir un problema común. Es justamente la construcción compartida de una ‘pregunta’ y un ‘problema’ lo que signa el inicio del proceso de investigación interdisciplinaria”* (Rodríguez Zoya, 2017, p.227).

Este trabajo propone redescubrir la enseñanza de las materias Física y Matemática a partir del planteamiento inicial de situaciones problemáticas identificadas en el desarrollo de un proyecto productivo sustentable, en un Bachillerato para Adultos con orientación humanística del conurbano bonaerense. Partiendo del extrañamiento inicial respecto a las ciencias exactas y jerarquizando la duda y la curiosidad como aspectos inherentes al ser humano, se establecen los puntos de anclaje entre la vida real observada y percibida, las necesidades cotidianas, individuales y barriales, y los contenidos curriculares de ambas disciplinas. La elección de la huerta agroecológica, cuyo desarrollo implica el trabajo interdisciplinario entre las ciencias exactas y naturales, sociales y humanísticas, se realizó de manera colectiva, respondiendo a necesidades socioeconómicas del barrio. Mediante la observación, la formulación de preguntas, elección de variables y sus relaciones algebraicas y la práctica en constante relación con la construcción de nuevas categorías semánticas, se promueve la resignificación del saber, el aprendizaje investigativo, la interacción solidaria y crítica y la creación de alternativas productivas y de desarrollo territorial y humano, llegando a abordar, desde inquietudes concretas, niveles de conceptualización abstractos.

II. MARCO INSTITUCIONAL

El Bachillerato para Adultos con orientación humanística del conurbano bonaerense en el cual se realizó la intervención educativa que se presenta, funciona en un edificio construido por docentes, estudiantes, vecinas y vecinos del lugar, por lo que es un espacio que el barrio siente propio y al que acuden adultos, generalmente jóvenes, que no han podido continuar su formación en la educación secundaria de manera habitual, por numerosas circunstancias: inaccesibilidad (económica y física), trabajo adolescente/infantil, paternidad/maternidad, violencia, privación de la libertad, problemas de salud, entre otros.

Este bachillerato posee un trayecto curricular de tres años, dentro de los cuales la materia Física ocupa dos horas semanales del segundo año. La supuesta distancia inicial entre la realidad cotidiana de las quince personas que componen el estudiantado y las características de la materia, sumada a la baja carga horaria disponible, puso en relieve

la necesidad de generar estrategias de enseñanza y de aprendizaje, inclusivas, colectivas y transformadoras (Rojo, 2015; Tuzón y Solbes, 2014).

La propuesta se llevó a cabo en cuatro etapas distribuidas a lo largo del año lectivo. La tabla I muestra de manera sintética la cronología del proceso interdisciplinar abordado, discriminando la cantidad de semanas destinadas a cada etapa.

TABLA I. Síntesis del proceso interdisciplinar en orden cronológico.

Etapa	Planteo y desarrollo de interrogantes sobre el universo	Elección del proyecto (incluyendo la visita a pro-huerta)	Planteo y relación de variables	Desarrollo experimental y traducción simbólica
Duración	6 semanas	2 semanas	8 semanas	17 semanas

II. ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA Y DE APRENDIZAJE INICIALES

El primer desafío fue revelar el interés y la curiosidad por los fenómenos observados y naturalizados y, a su vez, recomponer la estima del estudiantado respecto a su capacidad de hacer y aprender ciencia.

Desde el punto de vista docente se asumió el reto de ofrecer una visión integral de los conceptos a abordar (Hewitt, 2007) a través de un trabajo interdisciplinario con saberes de ciencias exactas y naturales, sociales y humanísticas.

Las primeras clases del ciclo lectivo se desarrollaron descubriendo la física presente en las habilidades (laborales, deportivas, artísticas) adquiridas por cada estudiante y, una vez abierta la puerta de la familiaridad con las ciencias exactas y naturales, eligiendo una o dos preguntas sobre los diferentes fenómenos físicos observados. El resultado fue amplio y sorprendente: elaboraron preguntas incisivas y, en muchos casos, profundamente reflexivas, sobre eventos naturales, no directamente relacionados con la resolución de necesidades cotidianas.

A partir de las preguntas, se realizaron diferentes actividades (observación directa de la naturaleza, experimentos sencillos, consulta de material audiovisual, etc.) que permitieron generar, colectivamente, parte de las respuestas a través de la construcción conceptual. Este proceso desencadenó nuevos desequilibrios, que requirieron nombrar de manera precisa los nuevos fenómenos descubiertos y las relaciones establecidas entre ellos. De allí, la incorporación de lenguaje científico, ya no por mera reproducción de definiciones impartidas sino por adecuación de la estructura de categorías semánticas para la descripción y comprensión del mundo ampliado (Sanmartí, 2007).

De acuerdo a las temáticas planteadas en las preguntas, se introdujeron los conceptos de *ondas* y su distinción entre electromagnéticas y materiales; *fuerzas* y su significación en los estados de movimiento de la materia o el corrimiento de los sistemas de su estado de equilibrio y, especialmente, la tendencia espontánea de los sistemas universales hacia los estados de *mínima energía* y *la máxima entropía*. En la apropiación de estos conceptos, en su mayoría muy abstractos, se trabajó a partir del análisis de experiencias, inicialmente, muy sencillas: una pelota a la que se deja caer desde cierta altura, la creación de una estructura de cierta complejidad mediante cartas apiladas, la disposición de un líquido dentro de una botella que va cambiando de posición, agua a 80 °C en un envase abierto en contacto con la atmósfera en un día invernal. A través de preguntas disparadoras como: ¿por qué y hacia dónde se mueve la pelota al dejarla caer?, ¿qué acción debió realizarse para llevarla hasta cierta altura?, se introdujo la noción de *punto de equilibrio*, *fuerza* y *comportamiento espontáneo* (estos conceptos también fueron ampliamente reforzados con la visualización del comportamiento de un péndulo simple). La disposición del agua dentro de una botella ubicada de manera vertical, horizontal u oblicua contribuyó a la comprensión del estado de equilibrio y su búsqueda espontánea por parte de cualquier sistema material. Una vez comprendidos estos conceptos, se repitieron las experiencias consultando en cuáles estados se consideraba que existía mayor gasto de energía. Fue interesante ver cómo, rápidamente, se reconoció que la pelota a cierta altura del piso debía tener más energía que sobre la superficie terrestre y dicha energía provendría del trabajo “guardado” que se necesitó para llevarla hasta allí. Respecto al agua, luego de cierto debate, pudo concluirse que, en cada caso, cada partícula de agua se disponía de manera tal de encontrar su estado de *mínima energía* posible. Las dos últimas experiencias permitieron incorporar la noción de probabilidad. El agua a 80 °C, después de cierto tiempo, llegó a una temperatura en equilibrio con el ambiente. La estructura de naipes, después de cierto tiempo, de desarmó de manera que cada naipe adoptó una ubicación espontánea (en su punto de equilibrio y de menor energía posible). Comparando ambos sucesos, se observó que los estados a los que habían evolucionado eran *los más probables*. A esta mayor probabilidad de estado de un sistema a lo largo del tiempo se la denominó *máxima entropía posible*.

En la apropiación de estos conceptos, en su mayoría muy abstractos, se trabajó con la llamada “Técnica Feynman” (Lemond Grad, 2017). El objetivo de esta técnica es que el estudiantado pueda describir un concepto en palabras simples y claras de manera de favorecer un aprendizaje sustentable (Galagovsky, 2004).

Una vez desarrollado este proceso, el desafío fue la sistematización del trabajo de investigación y aprendizaje en torno a los disparadores planteados. Aquí, cobró relevancia la significación del proceso respecto a las realidades y necesidades cotidianas: alimentación, salud, trabajo, cultura y expresión. En ese sentido, luego de varias propuestas, se decidió de manera unánime iniciar el proyecto de realización de una huerta agroecológica. Ese trabajo fue el punto inicial para lograr los principales objetivos de aprendizaje: la jerarquización de los propios interrogantes, la búsqueda de respuestas y las elaboraciones teóricas a partir de la propia experiencia, la apropiación del lenguaje científico y la abstracción simbólica para la aplicación en la intervención activa y la búsqueda de soluciones de problemáticas concretas como el acceso a la alimentación saludable en un barrio y población vulnerados.

III. LAS CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES EN LA HUERTA COMUNITARIA

Siempre resulta importante poder reivindicar la validez de los contenidos curriculares ante y con el estudiantado. En este caso, al tratarse de la elección colectiva de una estrategia de desarrollo de dichos contenidos, la argumentación de su pertinencia y significación también fue colectiva. En ese proceso, la secuencia fue la siguiente:

Identificación de necesidad. Planteo de problemática disparadora: ¿por qué y para qué producir alimento?: Con relación a los contenidos directamente relacionados con la física, la primera respuesta que surgió fue: “*Si no comemos, no tenemos energía*”. De allí, la nueva consulta: *¿y para qué necesitamos energía? “Para hacer cosas”*. Profundizando la respuesta, devino la siguiente pregunta: *¿qué es la energía? “Es la materia”, “Es lo que permite transformar las cosas”. “Es lo que hace que las cosas se muevan... O que estén más arriba o más abajo.”*

Surge, a continuación, el debate sobre los hábitos cotidianos de consumo, que son retomados en Salud y Ambiente, tramo de contenidos dentro de la materia Biología de segundo año.

Como parte del proceso de aprendizaje, se visitó una huerta cercana, enmarcada dentro del programa Pro-huerta del INTA. En la mayoría de los casos, se trataba de la primera ocasión en que se apreciaba el medio de producción de alimentos vegetales y a ellos en su forma natural. Ese reconocimiento generó gran entusiasmo y reafirmó el compromiso para llevar adelante la actividad.

A. La conjunción del lenguaje: del lenguaje coloquial al lenguaje disciplinar y al lenguaje matemático

El paso siguiente en la sistematización del trabajo fue la identificación del objetivo y los recursos necesarios para obtenerlo. Este ejercicio fue especialmente facilitado a partir de lo observado en la visita a la huerta barrial. Comenzó a nombrarse como *variable* a cada factor señalado y se identificaron las relaciones de *dependencia* entre cada una de ellas.

A partir de allí se propuso establecer la relación de uno (el objetivo, establecido como el alimento a obtener) *en función* de otros. Inicialmente, dichas relaciones fueron conversadas y planteadas con las herramientas del lenguaje habitual. Resultó sumamente interesante, luego, traducir dicha enunciación al lenguaje matemático, identificando a cada operación aritmética con el comportamiento de los diferentes factores e introduciendo el álgebra al identificar a cada variable con un símbolo no numérico. El modelo consensuado que resultó se planteó en forma de ecuación (1):

$$A = \alpha R + \beta G + \delta N - \gamma D \quad (1)$$

Siendo A = cantidad de alimentos obtenidos; R = cantidad de radiación solar diaria; G = cantidad de gotas de agua; N = cantidad de nutrientes y D = cantidad de daños.

A su vez, α = ángulo de incidencia, β = tasa de goteo, δ =proporción de nutrientes (se adjudica un número mayor cuanto más adecuada es esa proporción, especialmente para nitrógeno y fósforo).

Para la evaluación de posibles daños (γ), se propusieron diferentes modelos matemáticos, de cierta complejidad, que no concluyeron en un acuerdo general. Un resumen de las propuestas está dado por la ecuación (2):

$$\gamma = \Delta T + \mu A - E \quad (2)$$

Donde ΔT = variación diaria de temperatura (incluyendo el peligro de heladas); μA = situaciones de daño ambiental (físico, químico o biológico) y E = empatía del barrio con el proyecto.

B. Análisis de los sumandos de la ecuación (1)

En función de las variables independientes identificadas, el siguiente paso fue la elección del espacio en el que realizar la huerta. En tal sentido, se analizó de manera individual cada sumando del segundo miembro de la ecuación (1).

El *primer sumando* de la ecuación (1), es: αR = ángulo de incidencia de radiación x cantidad de radiación solar diaria.

Inicialmente, se realizó la experiencia de iluminar con una linterna una pelota de fútbol con diferentes objetos pegados en su superficie. De esta manera, se generó una idea más concreta sobre la proyección de las sombras según el ángulo de incidencia de la luz y la altura de los cuerpos iluminados. Se constató que, al iluminar un cuerpo con un ángulo de 90° respecto a la superficie, no se veía proyección de sombra. Sin embargo, tras la observación atenta de las sombras en diferentes horarios, se comprobó que nunca llegaban a ser nula. Esta distinción implicó un estudio detallado de la geometría del sistema solar y de los ángulos de una esfera tridimensional. Inicialmente, fue necesario volver a esquemas tridimensionales para integrar los diferentes aspectos analizados hasta que, progresivamente, se fue logrando mayor nivel de abstracción.

El primer análisis permitió el abordaje de distintos conceptos geométricos (la elipse, relación entre planos y rectas en el espacio, ver figura 1) en relación con los fenómenos percibidos cotidianamente a lo largo del año (desde la variación de la cantidad de horas de luz y la temperatura a lo largo de las estaciones hasta la sucesión de días y noches), aparentemente naturalizados y sobre los cuales se despertaron numerosos y entusiastas interrogantes.

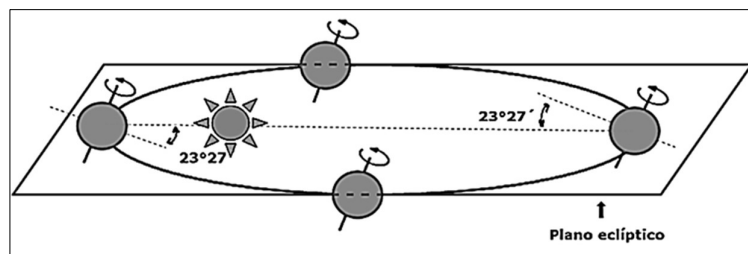


FIGURA 1. Órbita elíptica terrestre perteneciente al plano eclíptico respecto al cual la Tierra posee un ángulo de $23^\circ 27'$ de inclinación de su eje de rotación (ángulo de declinación). La figura muestra al Sol en uno de los focos de la elipse y a las cuatro posiciones del planeta correspondientes a ambos equinoccios y ambos solsticios

Una de las primeras conclusiones fue la dependencia de la variación de la radiación solar respecto a la cantidad de horas de luz/día y, a su vez, el resultado de éstas según la posición orbitaria de la Tierra. En este sentido, se pudo apreciar la incidencia del ángulo de declinación en solsticios (en los que el ángulo respecto a la radiación solar es máximo) o equinoccios (en los que el ángulo no influye respecto a la incidencia de los rayos del sol) (figura 1).

Al avanzar sobre los interrogantes acerca de las variaciones estacionales y los diferentes ángulos de incidencia solar, fue necesario introducir el análisis de las coordenadas establecidas por los ángulos de latitud y longitud en una cuasi esfera tridimensional. La figura 2 muestra el sistema de coordenadas geográficas mediante los ángulos de latitud (ϕ) respecto al plano ecuatorial (I), perpendicular al eje de rotación (P), y longitud (L), respecto al Meridiano Cero o de Greenwich. Es importante apreciar en esta figura, que se muestra el eje de rotación en posición vertical por lo que el plano eclíptico estaría inclinado $23^\circ 27'$ respecto al ecuador.

Al estudio geométrico se sumó, de manera natural, la indagación sobre la geografía territorial. Esta relación generó mayor entusiasmo en el reconocimiento de lo propio y el entendimiento de las razones de fenómenos cotidianos.

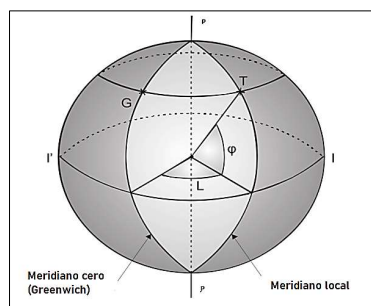


FIGURA 2. Axaopoulos, P. (2011). Ilustración del sistema de coordenadas geográficas mediante los ángulos de latitud (ϕ) respecto al plano ecuatorial (I), perpendicular al eje de rotación (P), y longitud (L), respecto al Meridiano Cero o de Greenwich (G) [Figura].

www.revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF

Avanzando en el estudio de las propiedades de ángulos y triángulos con sus relaciones trigonométricas, se llegó al ángulo de incidencia solar (figura 3). Sin embargo, surgió de los propios estudiantes el cuestionamiento sobre el ángulo de declinación (no considerado en este último análisis).

La figura 3 muestra el modo de calcular el ángulo de incidencia de la radiación solar según la latitud (ϕ) del punto terrestre considerado, utilizando las propiedades de ángulos alternos internos entre rectas paralelas. A su vez, puede apreciarse la extensión de la sombra proyectada por un cuerpo sobre la superficie (línea engrosada), en función de la altura de éste y el ángulo de incidencia de los rayos. La secante del arco de sombra es calculable con métodos de la trigonometría básica. Es necesario resaltar que, a fines de simplificar el esquema y los cálculos, se muestra a la Tierra sin su ángulo de declinación respecto al plano eclíptico. La trayectoria de la radiación solar se considera recta por la gran distancia existente entre el Sol y la Tierra.

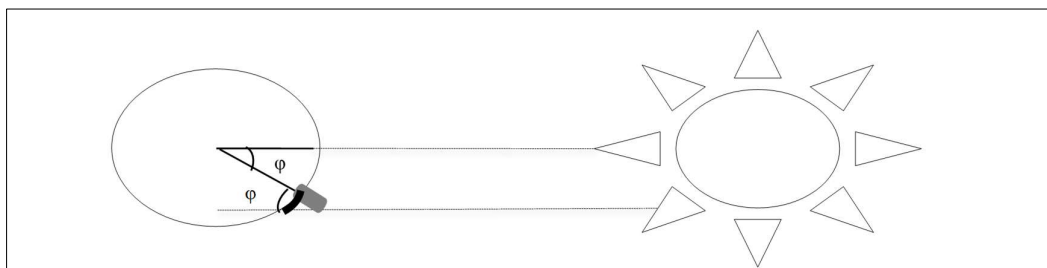


FIGURA 3. La figura muestra el modo de calcular el ángulo de incidencia de la radiación solar según la latitud (ϕ) del punto terrestre considerado, utilizando las propiedades de ángulos alternos internos entre rectas paralelas.

Por otro lado, surgió el interrogante sobre las variaciones diarias según la posición relativa del Sol respecto a la Tierra en su movimiento de rotación sobre su propio eje. Fue muy interesante que, antes de volver a la maqueta tridimensional, ya surgiera la observación de que este ángulo se establecería respecto al meridiano. Se consideró que la Tierra gira 360° en 24 horas, por lo que:

$$\omega = 360^\circ / 24 h = 15^\circ / h \quad (3)$$

De esta manera, se llegó al concepto de ángulo hora, definido como:

$$\theta = (12 - h) = 15^\circ \quad (4)$$

Donde h = hora solar¹, es decir, la hora que marca la posición relativa del Sol respecto de cada lugar.

Finalmente, pudo llegarse a las siguientes conclusiones:

1. El ángulo de incidencia solar (α) será igual a la suma de la latitud del punto geográfico (ϕ) más el ángulo de declinación (δ) correspondiente a la posición orbital de la Tierra, según su movimiento de traslación.

$$\alpha = \phi + \delta; \delta \in [-23^\circ 27', 23^\circ 27'] \quad (5)$$

2. La variación diaria del ángulo de incidencia de la radiación solar depende del movimiento de rotación e influye en la proyección de sombra de cuerpos que estén en la superficie

3. La orientación de la huerta (y de sus cancheros o bancales) debería tener su mayor dimensión orientada hacia el norte y la disposición de la siembra debería ser tal que quedasen ordenadas de norte a sur, de menor a mayor.

El *segundo sumando* de (1), θG = tasa de goteo x cantidad de gotas diarias por planta, implicó el cálculo hídrico según la demanda de cada especie, para el diseño de un sistema de riego con cierta autonomía, para lo que fue especialmente necesario introducir conceptos de hidrostática e hidrodinámica.

Se introdujo el estudio con una experiencia sencilla. Se realizaron una serie de orificios alineados verticalmente, a distancias regulares, en una botella de plástico duro. Se taparon con cinta y se procedió a llenar la botella con agua.

¹La hora solar no coincide con la hora oficial. Como es sabido, por motivos de ahorro eléctrico los gobiernos adelantan o atrasan la hora dependiendo del punto geográfico en que se encuentre su país.

Luego de taparla, se quitó de una vez la cinta que sellaba todos los orificios y se observó atentamente lo que sucedía, como se esquematiza en la figura 4.



FIGURA 4. Comportamiento del agua saliente por los orificios de una botella realizados a diferentes alturas

Al interrogar sobre cuál caudal de agua salía de la botella con más presión, las y los estudiantes concluyeron (luego de un debate en el que la docente no intervino sino para realizar algunas preguntas) que la mayor presión de agua se obtenía del orificio inferior. Al consultar sobre las posibles causas, surgieron dos opiniones: quienes argumentaban que dependía de la altura de la columna de agua y quienes sostenían que dependía del volumen total del agua. Para poder averiguar cuál variable era la que condicionaba la presión, se repitió la experiencia anterior, esta vez con dos botellas de diferentes dimensiones (ver figura 5) a las que se les introdujo el mismo volumen de agua. Luego de observarse los resultados, todo el grupo concluyó en que la variable determinante era la altura de la columna de agua. Durante estas mismas experiencias, varios estudiantes apreciaron que, al subir y bajar las botellas, también variaba el caudal saliente por los orificios. De esta manera, la presión no sólo dependía de la altura de la columna de agua sino de la altura desde la que ésta cayera, influida por la aceleración de la gravedad.

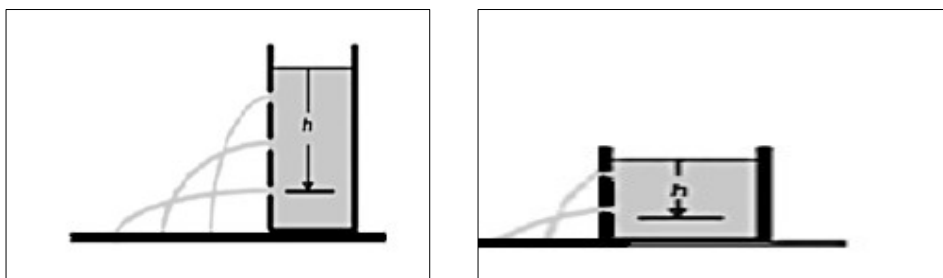


FIGURA 5. Esquema del experimento que permitió discernir entre las variables volumen total versus altura de la columna como determinantes de la presión de salida de agua por los diferentes orificios.

Luego se introdujo la variable del cambio de líquido utilizado. Se repitieron las experiencias con soluciones salinas de concentración creciente, de manera de encontrar la posible relación entre densidad (concepto ya conocido por las y los estudiantes) y presión.

De todas las experiencias, se concluyó que las tres variables analizadas: altura (h), gravedad (g) y densidad (ρ), tenían una relación directa con la presión de salida del líquido. De allí, se dedujo la fórmula de obtención de la presión hidrostática (P_h):

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h \quad (6)$$

Para concluir con el análisis, se debatió sobre el comportamiento del caudal saliente al circular por las mangueras de riego por goteo. Se concluyó que una mayor diferencia de presión, ΔP , (y no sólo la presión de salida) y un mayor radio (r) permitirían mayor caudal (Q) circulante por la manguera de riego. A su vez, la longitud creciente de esta última incidiría inversamente en dicho caudal. Como corolario de este proceso de razonamiento, se presentó la ecuación de Poiseuille (en la que se agrega la variable de la viscosidad, η , con relación inversa al caudal circulante)

$$Q = \frac{\Delta P \pi r^4}{8 \eta l}$$

El conjunto de estos análisis permitió la construcción de un sistema de riego que, si bien modesto en cuanto a los materiales utilizados (botellas plásticas apiladas, cámaras de bicicleta y mangueras usadas agujereadas con los intervalos convenientes según demanda), abasteció de riego adecuado con, al menos, una semana de autonomía

El *tercer sumando* de la ecuación (1), δN = proporción de nutrientes (mayor para N y P) x cantidad de nutrientes, implica el análisis de los ciclos de la materia y las interacciones entre sistemas de partículas con diferentes estados de energía.

El *cuarto sumando* de la ecuación (1), $-\gamma D$ = cantidad de daños, promueve diversas áreas de abordaje integral, que implican el análisis socio cultural económico y ambiental del territorio.

Respecto a la construcción de bancales, canteros y almáligos de manera tal de prevenir los daños (especialmente los físicos), comenzaron a diseñarse, de manera colectiva, diferentes alternativas: canteros altos, protegidos por cercos sólidos de madera, maceteros trasladables por un sistema de poleas, canteros con cercos rebatibles. Todas estas opciones implicaron interesantes análisis desde el punto de vista mecánico.

IV. CONCLUSIONES

Jerarquizar la duda y la curiosidad como aspectos inherentes al ser humano; establecer puntos de anclaje entre la vida real observada y percibida, las necesidades cotidianas, individuales y barriales, y los contenidos curriculares de las disciplinas puestas en interacción fueron estrategias fundamentales para este proceso de enseñanza y de aprendizaje.

A través de la generación de interrogantes, la experimentación y la construcción conceptual, el estudiantado fue capaz de explicar varios de los fenómenos físicos observados y pudieron apropiarse del lenguaje matemático como herramienta para su modelización.

La elección colectiva en el desarrollo de los contenidos, la argumentación de su pertinencia y su significación fueron los puntos de partida y los motores imprescindibles del proceso. En ese marco, la construcción de una huerta comunitaria y agroecológica aunó la resolución de diversas situaciones problemáticas, en cuanto a lo socio económico y territorial, para las que las ciencias exactas brindaron herramientas útiles en su análisis e, incluso, posibilitaron la formulación de propuestas novedosas y eficientes. Todo esto, lejos de disminuir la conceptualización abstracta, la posibilitó y enriqueció.

Esta dinámica implicó un replanteo de las tradicionales relaciones intraáulicas, en donde suele predominar la comunicación unidireccional y el rol pasivo del estudiantado como receptor. En este caso, el conjunto entero (docente y estudiantes) formaron parte de un grupo de investigación en búsqueda de respuestas a las problemáticas planteadas en el camino de lograr un objetivo en común. De esta manera, la evaluación del proceso también fue colectiva y multidireccional e implicó una mirada integral en la que se reconocieron: el desarrollo y la concreción del objetivo productivo (una huerta de, aproximadamente, 12 m² de superficie, que abasteció de verduras de calidad a más de 100 familias), el reconocimiento de las variables limitantes, su modelización matemática, y el uso de la física para el diseño de soluciones a dichas limitaciones o dificultades, la adquisición de conceptos semánticos y su sistematización simbólica traducidas en un crecimiento individual y grupal reflejados en la profundidad de los planteos, el surgimiento de nuevos interrogantes y la elevación de la autoestima.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Nacional del Sur por la financiación del Proyecto de Grupo de Investigación 24/Q087 en el marco del cual se realizó este trabajo.

REFERENCIAS

Acevedo-Díaz, J. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 1(1), 3-16.

Aikenhead, G. (2005). Educación Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) Una buena idea como quiera que se le llame. *Educación química*, 16(2), 304-315.

Axaopoulos, P. (2011) Basic Principles of Solar Geometry. En *Solar Thermal Conversion: Active Solar Systems*. Athens: Simmetria.

Galagovsky, L. R. (2004). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable: parte 1, el modelo teórico. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), 229-240.

García, R. (2006), *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona: Gedisa,

García, R. (2011) Interdisciplinariedad y sistemas complejos. [En línea] *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*, 1(1). Disponible en: http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.4828/pr.4828.pdf

Hewitt, P. (2007) *Física conceptual*. Décima edición México: Pearson Educación.

Amil. (2017). How to Learn Better with Feynman Technique (Examples Included)? What You Don't Learn in College? *Lemond Grad* Disponible en: <http://lemongrad.com/feynman-technique/>

Meroni, G., Copello, M. I., Paredes, J. (2015). Enseñar química en contexto. Una dimensión de la innovación didáctica en educación secundaria. *Educación química*, 26(4), 275-280.

Membiela, P. y Padilla, Y. (2005). *Retos y perspectivas de la enseñanza de las ciencias desde el enfoque 18 Ciencia-Tecnología-Sociedad en los inicios del siglo XXI*. Educación Editora.

Rojo, A. (2015) *La física en la vida cotidiana*. 1.ª ed, 7.ª reimpr. Buenos Aires: Siglo XXI.

Rodríguez Zoya L.G. (2017). Complejidad, interdisciplina y política en la teoría de los sistemas complejos, de Rolando García. *Civilizar Ciencias Sociales y Humanas*, 17(33), 221-242.

Sanmartí, N. (2007). Hablar, leer y escribir para aprender ciencia. En: Fernández, P. (coord.) *La competencia en comunicación lingüística en las áreas del currículo*. Colección Aulas de Verano. Madrid: MEC

Solbes, J., Vilches, A. y Gil, D. (2001) El enfoque CTS y la formación del profesorado. En Pedro Membiela (Ed.), *Enseñanza de las Ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad*. Madrid: Narcea. Capítulo 11 (163-175).

Solbes, J. y Vilches, A. (2004) Papel de las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente en la formación ciudadana. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(3), 337-348.

Tuzón, P. y Solbes, J. (2014) Análisis de la enseñanza de la estructura e interacciones de la materia según la física moderna en primero de bachillerato. *Revista Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 28, 175-195.