

Exposición Temprana de Nativos Digitales en Ambientes, Metodologías y Técnicas de Investigación en la Universidad

Early Exposure of Digital Natives to Environments, Methodologies and Research Techniques in University Physics

H. Asorey¹, L.A. Núñez^{*2}, C. Sarmiento-Cano³

¹Comisión Nacional de Energía Atómica, Centro Atómico Bariloche, Bariloche, Argentina.

²Universidad Industrial de Santander, Escuela de Física, Bucaramanga, Colombia.

³Instituto de Tecnologías en Detección y Astropartículas, Buenos Aires, Argentina.

Recibida en 31 de Marzo, 2018. Aceptado en 25 de Abril, 2018.

Conscientes de la problemática relacionada con la motivación en el estudio de las carreras científicas, presentamos dos experiencias en las cuales se expone a estudiantes universitarios a ambientes, metodologías y técnicas del descubrimiento abordando problemas contemporáneos. Estas experiencias se desarrollaron en dos contextos complementarios: un curso de Introducción a la Física, en el cual se motiva a estudiantes de Física a la participación temprana en investigación, y un semillero de investigación multidisciplinario para estudiantes avanzados de pregrado en Ciencias e Ingeniería, el cual produjo incluso contribuciones a eventos internacionales. Si bien los resultados son preliminares y requieren más ediciones para ser estadísticamente significativos, consideramos que son alentadores. En ambos entornos se observó un aumento de la motivación de los estudiantes para continuar sus carreras haciendo énfasis en la investigación. En este trabajo, además de presentar el marco contextual en el cual se soportan las experiencias, describimos seis actividades concretas para vincular a los estudiantes con los ambientes de descubrimiento, las cuales creemos pueden ser replicadas en ambientes similares de otras instituciones educativas. **Palabras clave:** Educación de las Ciencias, Educación en Física, Educación focalizada en investigación, Nativos digitales e inmigrantes digitales, Rayos Cósmicos, Astropartículas, Cursos de Física Básica

Being aware of the motivation problems observed in many scientific oriented careers, we present two experiences to expose college students to environments, methodologies and discovery techniques addressing contemporary problems. This experiences are developed in two complementary contexts: an Introductory Physics course, where we motivated physics students to participate in research activities, and a multidisciplinary incubator of research oriented to advanced undergraduate students of Science and Engineering (that even produced three poster presentations in international conferences). Although these are preliminary results and require additional editions to get statistical significance, we consider they are encouraging results. On both contexts we observe an increase in the students motivation to orient their careers with emphasis on research. In this work, besides the contextualization support for these experiences, we describe six specific activities to link our students to research areas, which we believe can be replicated in similar environments in other educational institutions.

Keywords: Science Education, Physics Education, Education focussed on research, Digital natives and digital immigrants, Cosmic Rays, Astroparticles, Basic Physics Courses

1. Introducción

A partir de los años 70 hubo un cambio en el modo de producción del sistema capitalista en el cual pasamos de una sociedad industrial a una informacional. En esta nueva era de la humanidad la información ha ido transformando a la economía en el mismo sentido que la industria transformó la actividad agraria en industrial. No es retórico que estamos en la sociedad del conocimiento y/o de la información: información y conocimiento son insumos y, a la vez, productos en esta nueva economía [1, 2]. Las actividades científicas y tecnológicas no se escapan a este proceso y se han convertido en e-actividades que difieren

de lo que habíamos venido haciendo en términos metodológicos, funcionales y, sobre todo, en la manera como nos organizamos para crear y diseminar el conocimiento que producimos.

Del mismo modo que fue necesario instruir a los pobladores de una sociedad agraria para poder seguir instrucciones y operar las nascentes maquinarias de la era industrial, hoy es indispensable involucrar a la mayor parte de la sociedad en la producción de conocimiento. Cada vez más y con mayor frecuencia, se desarrollan proyectos de investigación en los cuales se teje un complejo entramado de relaciones entre profesionales y aficionados y resuenan vocablos como *crowdsourcing* [3] y ciencia ciudadana [4-6].

*Correo electrónico: lnunez@uis.edu.co.

Esta necesidad de articular docencia e investigación, de exponer tempranamente a los estudiantes a los ambientes de descubrimiento, viene siendo discutida en varios escenarios [7] y consolidándose a través de una variedad de propuestas pedagógicas con varios enfoques y perspectivas como la investigación participativa, los sistemas activos de aprendizaje y los entornos de aprendizaje auto-organizados (ver por ejemplo [8,9] y referencias allí citadas).

Uno de los mayores retos es el de vencer la resistencia interna que tanto docentes como estudiantes exhiben frente a la implementación de nuevas técnicas pedagógicas por el temor, infundado, de que nuevos métodos de enseñanza traigan aparejada una pérdida de rigor científico en la clase o de que no se adquieran habilidades para resolver ejercicios. Ha llegado a plantearse que las técnicas tradicionales han funcionado con éxito hasta ahora, que no todos los estudiantes de Física poseen interés en la investigación, o incluso que no se dispone de suficiente tiempo para la innovación educativa en las Universidades [10].

Pero no es solo el impulso vital de la época, ese tácito consenso social que estimula a las organizaciones actuales a producir información y conocimiento más y más rápido, es la necesidad de motivar a las nuevas generaciones de estudiantes, nativos digitales [11], para quienes el descubrimiento de cómo funcionan infinidad de dispositivos es parte de su cotidianidad. Definitivamente, incorporar el descubrimiento en la práctica pedagógica de los primeros cursos de ciencias es esencial en estos tiempos de cambio.

La Física en el Siglo XXI es una disciplina en rápida evolución que demanda constantemente nuevos desarrollos y técnicas de análisis que permitan abarcar un creciente número de preguntas cada vez más complejas. Esta evolución y sus nuevas formas de organización para producir conocimiento (global y colectiva) necesitan ser ilustradas en los distintos cursos de la carrera desde las etapas más tempranas de la formación de los futuros investigadores. Es en los primeros semestres cuando los estudiantes deben vislumbrar los alcances de la Física como disciplina de estudio del mundo que los rodea, y ensayar un mínimo de métodos, herramientas y técnicas indispensables para la investigación en ciencias [12,13].

Si bien existe una bien documentada lista de prácticas exitosas de articulación docencia-investigación, la inmensa mayoría de los primeros cursos en la enseñanza de la ciencia siguen siendo tradicionales: clases magistrales con tiza y pizarrón [10]. Por ello queremos contribuir con algunas experiencias que muestran estrategias para exponer a estudiantes de educación superior a ambientes, metodologías y técnicas de investigación abordando problemas contemporáneos. Las hemos realizado de forma que puedan ser sostenidas en el tiempo, escalables a cursos de distintos tamaños y replicables en otros ambientes de instituciones universitarias en nuestra América Latina.

Este trabajo fue organizado de la siguiente manera: en la próxima sección analizamos el contexto de ese cambio

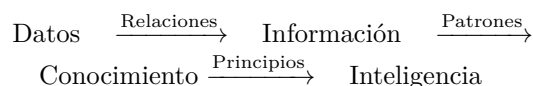
de época y como incide en las nuevas realidades de la enseñanza de las ciencias; en la sección 3 describimos dos experiencias de participación en investigación; seguidamente, en la sección 4 mostramos algunos resultados muy preliminares de estos ensayos; a continuación desarrollamos unas reflexiones generales sobre ambas experiencias; finalmente, en los Apéndices listamos las actividades desarrolladas para generar esa exposición a la investigación científica.

2. El contexto de la producción temprana de conocimientos

2.1. La jerarquía DIKW: Datos-Información-Conocimiento-Inteligencia

El punto central de este artículo es describir algunos resultados preliminares de una experiencia pedagógica y, sobre todo, generar una reflexión sobre la necesidad de incorporar a la nueva generación de alumnos –los nativos digitales– a la producción temprana de conocimiento que consideramos el centro de esta nueva era informacional. Para ello, contextualizamos nuestra descripción haciendo énfasis en el cambio que la Física –y en general la ciencia– está atravesando dada la transformación que ha experimentado el modo de producción del sistema capitalista, que nos lleva de una sociedad industrial a una sociedad informacional [1,2]. Este cambio centra la economía en la producción de riquezas a partir del conocimiento generado de grandes volúmenes de datos que cada vez más, y con mayor frecuencia, tenemos disponibles a través de Internet.

Para intentar precisar términos como datos, información y conocimiento, que utilizaremos con frecuencia más adelante, hacemos uso del modelo DIKW (por sus siglas en inglés de *Data, Information, Knowledge and Wisdom*) propuesto por R.L. Ackoff en 1989 [14] y que se ha convertido en propuesta clásica y controvertida de la fundamentación teórica para la gestión del conocimiento ([15,16] y las referencias allí citadas). Un esquema simplificado del modelo DIKW y las transiciones que se dan en la producción de datos, información, conocimiento e inteligencia, se puede resumir como [17]:



- Los datos son símbolos, cantidades medidas o simuladas, que representan las propiedades de los objetos y eventos y que en una imagen informática, se concretan el contenido de hojas de cálculo.
- La información consiste en datos procesados, los cuales adquieren significado identificando las relaciones que les subyacen. En el lenguaje informático las bases de datos relacionales construyen información a partir de los datos y sus relaciones. La información contiene descripciones, respuestas a

- preguntas como: quién, qué, cuándo, dónde y cuántas.
- El conocimiento es la recopilación de información identificando los patrones que lo generan. La memorización de la información (como lo hacen a menudo los estudiantes), genera un conocimiento útil pero no proporciona, en sí mismo, una integración que pueda inferir más conocimiento. La identificación de patrones y el modelado de la información se ha ido decantando de forma sistemática en áreas emergentes como el aprendizaje estadístico [18].
 - La inteligencia, finalmente, es la identificación de principios que vinculan y unifican conocimientos. Permite generar/vincular a partir de esos principios, nuevos conocimientos. Muy recientemente estamos siendo testigos de la vigorosa re-emergencia de la inteligencia artificial que hoy se concreta creación en sistemas que generan sistemas, códigos que son capaces de escribir códigos a partir de recopilación de conocimiento [19,20].

Estas precisiones nos lleva a otras que serán indispensables más adelante. La distinción entre datos-información *vs* conocimiento nos obliga a contrastar otros dos términos: enseñanza *vs* aprendizaje. La enseñanza la podemos entender como el acto de “depositar” información en el aprendiz: el profesor enseña cuando transmite información al alumno quien la “almacena”, vale decir, la memoriza y reproduce fielmente. Por su parte, aprender está directamente vinculado a la generación de conocimiento. El aprendiz interactúa con el mundo que lo coloca frente a problemas y situaciones que deben ser resueltos y, para ello, es necesario buscar cierta información que no siempre se puede aplicar en la misma forma en que se obtuvo. Aprender significa entonces apropiarse de la información según los conocimientos previamente construidos [21].

2.2. La emergencia de la ciencia de datos y el aprendizaje colaborativo

Los términos “ciberinfraestructura”, “e-ciencia” y más recientemente uno más amplio, “e-investigación”, han sido acuñados para describir nuevas formas de producción y diseminación del conocimiento (ver [22–24] y las referencias allí citadas). Parte de los retos que habremos de enfrentar en esta nueva manera de hacer ciencia son el de manejar, administrar, analizar y preservar un “diluvio de datos” [25]. Este alud de mediciones convierte a los instrumentos en herramientas informáticas y la experimentación no puede aislarse de términos como minería de datos. La avalancha de registros de todo tipo viene generada por experimentos de escala mundial (aceleradores de partículas, red de observatorios terrestres y satelitales e infinidad de los más variados sensores dispersos geográficamente), los cuales desbordan toda capacidad de manejo que no sea mediante uso intensivo de las TIC [26].

El manejo, tratamiento y comprensión de esta ingente cantidad de datos e información, para ser luego utilizarla convenientemente en la búsqueda de respuestas a preguntas cada vez más complejas y generando nuevos conocimiento, hizo necesario la creación de grandes colaboraciones científicas. Distintas barreras impuestas por los diferentes lenguaje, culturas e idiosincrasias han tenido que ser derribadas para lograr integrar a miles de científicos provenientes de cientos de instituciones radicadas en decenas de países diferentes, que trabajan mancomunadamente en un entorno muy competitivo y a la vez, altamente colaborativo.

Los estudiantes deben prepararse desde las etapas más tempranas a trabajar en estos entornos. Desde el aula, es posible fomentar el trabajo en equipo y colaborativo, mediante la creación de grupos de trabajo formados por estudiantes escogidos al azar, desalentando los cambios de personas entre grupos [27]. De esta forma, se estimula a los estudiantes para que se adapten y aprendan a trabajar en equipo con sus compañeros de grupo, y eventualmente pulir asperezas para alcanzar el éxito en las tareas encomendadas al grupo [28,29]. Así, el aprendizaje colaborativo “parte de concebir a la educación como proceso de socio-construcción que permite conocer las diferentes perspectivas para abordar un determinado problema, desarrollar tolerancia en torno a la diversidad y pericia para re-elaborar una alternativa conjunta” [30]. Entonces, estos entornos se convierten en “un lugar donde los estudiantes deben trabajar juntos, ayudándose unos a otros, usando una variedad de instrumentos y recursos informativos que permitan la búsqueda de los objetivos de aprendizaje y actividades para la solución de problemas” [31].

Quizá no tengamos una conciencia clara de los profundos cambios que habrán de experimentarse en nuestra actividad académica por esa necesidad de manejar y analizar inmensos volúmenes de datos. Es tal la cantidad de información a la cual hoy tienen acceso nuestros estudiantes, que debemos plantearnos una reflexión en torno a los contenidos y a las metodologías que utilizamos cotidianamente en la formación de estos futuros profesionales. Nuestra función como docentes habrá de focalizarse en la enseñanza de los principios básicos en ciencias y humanidades, proveyendo el adiestramiento necesario para que los estudiantes puedan encontrar en la red la información pertinente y valorar su calidad.

Si bien los ingentes volúmenes de datos provenientes de mediciones reales y disponibles a través de la red, abren inmensas posibilidades para hacer una docencia productora de nuevos conocimientos y, más aún, se comienzan a ver los esfuerzos por utilizar estas herramientas y metodologías de la e-investigación en la educación [32–34], existe una resistencia bien marcada por parte de los mismos investigadores en utilizar las TIC en su docencia cotidiana. Existe una extensa evidencia documental que muestra que la resistencia para la incorporación de las TIC en la enseñanza es una consecuencia cultural propia de los mo-

mentos de transición modelos de sociedades: Industrial e informacional. Aún nos aferramos a los viejos paradigmas y visiones de la actividad científica y no percibimos, o no queremos percibir, qué nos cambió el panorama y nos resistimos a entrar en la era informacional [35, 36].

2.3. Nativos e inmigrantes digitales

Las estadísticas de ingreso a nuestras universidades muestran que, en promedio, más del 90 % de los estudiantes admitidos tienen menos de 20 años de edad (ver para el caso de la Universidad Industrial de Santander (UIS)¹ página 58 de [37]) situándolos dentro de la generación de los “nativos digitales” [11]; crecidos en un entorno computacionales, en los cuales el acceso a consultas a Wikipedia² es casi permanente y para quienes las numerosas aplicaciones para teléfonos celulares ponen la suma del conocimiento humano al alcance de sus dedos.

Estos nativos digitales, a lo largo de su vida, han dispuesto menos de 5000 horas para lectura de libros, pero han estado más de 10000 horas frente a videojuegos, o 20000 horas frente a la televisión [11]. El correo electrónico, Google³, Facebook⁴, Twitter⁵, *blogging*, son parte integral de sus vidas, donde el acceso a enormes volúmenes de información en tiempo real ha cambiado radicalmente la forma en que los nativos digitales procesan e interpretan los estímulos del mundo que los rodea.

La facilidad para acceder a grandes volúmenes de información se refleja en el aula: los estudiantes realizan consultas en tiempo real durante la clase, pero no al docente, si no a la red, cuando el profesor utiliza un término que ellos desconocen. Como docentes, debemos dejar de ser la única fuente de información, para convertirnos en guías y mentores de un aprendizaje individual, brindando una plataforma de conceptos y conocimientos básicos que los ayude a evaluar la calidad de la información y discernir sobre la veracidad de una ingente avalancha de datos e información que tienen frente a cada respuesta que buscan en la red [38]. Debemos instruirlos, también, en el uso de estas herramientas: acceder a grandes volúmenes de datos e información, no implica disponer de forma inmediata y automática del conocimiento que dicha información trae consigo. Definitivamente, vivir en un mundo de información no implica que seamos más sabios.

A escala institucional, la Universidad debe comenzar a poner más énfasis en el aprendizaje (lo que hacen los estudiantes) que en la enseñanza (lo que hacemos los profesores). Los docentes, en la mayoría de los casos mayores de 30 años, somos “inmigrantes digitales”, no nacimos pero nos vimos inmersos en un mundo nuevo de rápida adaptación. Así como un libro se diferencia de un

e-book, debemos ser capaces de lograr adaptarnos a este nuevo entorno, captar la atención de los nativos digitales, hablar en su propio lenguaje, introducir los conceptos a transmitir de la forma que ellos puedan incorporar mejor: de lo estático a lo dinámico, de lo puntual a lo continuo, de lo escrito a lo visual.

2.4. El aprendizaje y las tecnologías de información y comunicación

Es innegable la penetración que han tenido las TIC tanto en la investigación como en la enseñanza, desde la academia hasta el mundo comercial/industrial. De las TIC se espera que, en resumen, logren mejorar la adaptación al proceso enseñanza-aprendizaje. Sin embargo, las TIC, al ser herramientas, no garantizan por sí solas el cumplimiento de esa mejora. Depende de los docentes lograr que la implementación de TIC en el aula faciliten y favorezcan el aprendizaje de los estudiantes [21, 39, 40]. Estudios recientes muestran que la actitud del profesorado frente a las TIC es tanto o más importante que los recursos TIC puestos a disposición de la práctica educativa [41]. Es por ello que esta propuesta metodológica utiliza herramientas de las TIC como forma de acercarse a los estudiantes, nativos digitales en su amplia mayoría, al utilizar entornos que ellos dominan y a los que están más acostumbrados. Esta estrategia justificaría por sí sola la necesidad de implementar TIC en el aula. Sin embargo, gran parte de estas herramientas son las que los estudiantes deberán incorporar a lo largo de su carrera tanto académica como científica: consultas a bases de datos en línea, técnicas de análisis de datos y simulaciones físicas utilizando lenguajes interpretados como python, o redacción de informes o trabajos científicos en \LaTeX , mantener una discusión en un foro, o simplemente compartir información en la nube.

3. Experiencias de participación en investigación

A partir de los presupuestos de la sección anterior: La emergencia de la Ciencia de Datos, el aprendizaje colaborativo, los nuevos actores del proceso enseñanza-aprendizaje y las TIC, nos planteamos explorar esquemas de enseñanza-aprendizaje que expongan tempranamente a los alumnos a lo que habrá de ser su vida profesional.

En esta sección presentamos dos experiencias de participación en investigación con estudiantes de educación universitaria desarrolladas desde la Escuela de Física de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga-Colombia.

La primera de éstas lo constituye el curso de Introducción a la Física para estudiantes de nuevo ingreso a la carrera de Física y la segunda se refiere al desarrollo de un semillero de investigación multidisciplinario, con estudiantes entre sexto y octavo semestre de las carreras en Ciencias e Ingenierías. Ambas iniciativas exponen a

¹<http://www.uis.edu.co/planeacion/documentos/uisencifras/2013/index.html>

²wikipedia.org

³www.google.com

⁴facebook.com

⁵twitter.com

los estudiantes a metodologías y técnicas muy similares a las que enfrentarán en su futuro profesional como investigadores, a saber:

- temas de actualidad, con referencias bibliohemerográficas recientes;
- acceso a fuentes de datos reales disponibles en línea;
- manejo de herramientas computacionales para realizar el análisis de datos, simulaciones y posibilidad de contrastar resultados de experimentos con simulaciones y;
- redacción de un informe con formato de artículo con herramientas profesionales de composición de texto que, para el caso de la Física consideramos que es \LaTeX .

En el Apéndice hacemos un listado detallado de las actividades prácticas que articulan docencia-investigación y ciencia de datos. Indicamos sus objetivos, las referencias y las acciones que deben cumplir los estudiantes.

3.1. Introducción a la Física para nativos digitales

En la más reciente reforma del plan de estudios de la carrera de Física de la Universidad Industrial de Santander (Bucaramanga-Colombia) se incluyó un curso llamado Introducción a la Física, con un doble objetivo: nivelar en conceptos y técnicas de Física a los estudiantes provenientes de distintos colegios y motivarlos a continuar en la carrera de Física.

Al ingresar a la Universidad, estos mismos estudiantes acarrean preconceptos, en general negativos, respecto a la Física, basados en sus expectativas y vivencias previas, y que se observan aún en aquellos que han elegido estudiar esta disciplina. En el proceso de aprendizaje, estos preconceptos tienen una influencia directa sobre la forma en la que los estudiantes se enfrentan a los retos que implica comenzar (y porque no también cursar) esta carrera [42] y quizá inciden en el alto nivel de deserción reportado en la carrera de Física de la UIS la cual, en el quinquenio 2008-2012 [37], tuvo un promedio de 66,2% y con un máximo de 75,6% en el año 2010.

En el diseño curricular de nuestra propuesta se tuvo especial atención a la condición de nativos digitales de los estudiantes, y por ello se abordó a través de:

- **Uso de bitácora y redes sociales como centro contenidos y discusión** La distribución de contenidos (presentaciones del curso, códigos Python, referencias de apoyo y vídeos relacionados) se concentraron en la bitácora (*blog*)⁶. Se creó una cuenta de twitter⁷, y un grupo abierto de Facebook⁸, de acceso público. Los alumnos generaron en estas redes una dinámica mediante la publicación de preguntas, inquietudes, dudas, resultados

de sus actividades, vídeos y noticias de los medios relacionadas con la temática del curso. Todo el material está licenciado bajo la licencia *Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)*⁹.

- **Acceso a la red en todo momento.** En tanto en las discusiones en el aula, como en las evaluaciones se incentivó el uso de fuentes de datos y conocimiento en línea como Wikipedia, google data, etc, para fundamentar las argumentaciones.
- **Exploración de pre-concepciones** Al inicio del curso se realizó una exploración anónima de 30 preguntas de física general y 20 preguntas de matemática básica con el fin de explorar los preconceptos de los estudiantes y evaluar la mejor forma de encarar los contenidos curriculares. Se continuó con esta práctica durante el cursado mediante un enfoque constructivista en las clases.
- **Capacitación en el uso de herramientas computacionales** Tal y como se mencionó anteriormente, se utilizaron herramientas computacionales de uso cotidiano en ambientes de investigación, a saber:
 - Python¹⁰ [43] es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado, multiparadigma y de propósitos generales, donde se pone especial énfasis en la simplicidad del código y su rápida implementación. Se caracteriza por su facilidad de uso y una rápida curva de aprendizaje, lo que lo hace ideal para su incorporación en el aula. Más aún, python ha sido adoptado por organizaciones mundiales de primer nivel, como Yahoo, Google, NASA, NWS y el CERN¹¹, además de una enorme comunidad de usuarios en todo el mundo. Esto garantiza la existencia de una extensa base de ayuda en línea.
 - Tracker¹² [44] es un código java, gratuito, y con una interfaz muy simple de utilizar, que permite la edición, el análisis de vídeos y el modelado de situaciones físicas en un rango muy amplio de situaciones. Está específicamente diseñado para ser incorporado como herramienta para la educación en Física. Se incentivó a los estudiantes a realizar vídeos utilizando sus celulares sobre situaciones de su vida cotidiana para luego analizarlos utilizando Tracker.
 - \LaTeX [45, 46] es un sistema de composición de textos orientado a la escritura de artículos, libros y tesis, de uso muy extendido en la comunidad científica. La calidad tipográfica

⁹Ver <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> y <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode>

¹⁰<http://www.python.org>

¹¹<https://wiki.python.org/moin/OrganizationsUsingpython>

¹²<http://https://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>

⁶http://halley.uis.edu.co/fisica_para_todos/

⁷<https://twitter.com/fisicatodos>

⁸<https://www.facebook.com/groups/fisicareconocida/>

del resultado final es comparable a la de imprentas profesionales. En las primeras clases de los laboratorios, se dará a los estudiantes un ejemplo de informe basado en L^AT_EX para que lo desarrollen como base para las entregas que deben realizar a lo largo del curso. Se promocionó el uso de ambientes colaborativos en línea para la escritura de los informes, como por ejemplo *WriteL^AT_EX*¹³.

- **Desarrollo de Prácticas en Laboratorios Computacionales** La implementación de los laboratorios virtuales se apoyan en numerosas herramientas basadas en TIC, que en muchos casos requieren ser instaladas o apoyarse en recursos en línea, cuyo acceso es abierto pero en algunos casos son más limitados que sus versiones instaladas. Más aún, persiguiendo un criterio de equidad entre los estudiantes y la escalabilidad de esta propuesta, no es posible basar su aplicabilidad en el requisito de que los estudiantes dispongan de computadores portátiles que puedan utilizar durante las clases prácticas y también en sus casas. Este criterio de equidad se logra montando el laboratorio virtual en aulas con computadoras disponibles en prácticamente toda Universidad. Con el fin de adaptarse a cualquier infraestructura disponible, se utilizan tecnologías de virtualización basadas en máquinas virtuales de sistema [47], utilizando para ello la virtualización VirtualBox¹⁴ de Oracle, gratuita y disponible para todos los sistemas operativos. Con el fin de minimizar los recursos, la virtualización utiliza el sistema operativo Xubuntu 14.04 para arquitecturas de 32 bits¹⁵. Xubuntu, basado en la distribución Ubuntu¹⁶ es un sistema operativo de código abierto, gratuito y liviano, basado en el núcleo GNU/Linux, con una alto nivel de penetración tanto en los usuarios finales como en sistemas de computo de alto rendimiento, académicos y corporativos. La elección de este sistema garantiza la sostenibilidad en el tiempo y la escalabilidad a cursos con mayor número de estudiantes, al no depender de la compra de licencias de software, y además transmite a los estudiantes la filosofía del código abierto a los datos, a los sistemas y al conocimiento. La máquina virtual utilizada¹⁷ está preparada para correr en una memoria USB de 16 GB, y tiene instalados todos los programas y aplicaciones necesarias para el normal desarrollo de las actividades del curso (python, gnuplot, tracker, etc). Esta forma de instalación resulta no invasiva para los sistemas de cómputo de la universidad, a

la vez que garantiza la portatilidad de la máquina virtual que permite a los estudiantes continuar los desarrollos vistos en clases en sus hogares, o en cualquier otra computadora. En el Apéndice se describen algunas de las prácticas desarrolladas en los laboratorios.

El curso supuso una participación de los estudiantes de seis horas por semana en aula y cuatro de trabajo independiente. Las seis horas de participación en aula se dividieron en tres encuentros semanales de dos horas cada uno:

- dos horas para la discusión del contenido programático, organizado en cuatro módulos: Introducción y Herramientas Matemáticas, Mecánica, Electricidad y Ondas (con una duración de 3, 6, 5 y 2 semanas respectivamente, 16 semanas en total);
- treinta minutos de reforzamiento, sesenta para un ambiente SOLE (por sus siglas en inglés de *Self Organized Learning Environment*, ver Apéndice) y treinta de encuentro con la profesión a través de charlas con investigadores;
- dos horas de laboratorio para la capacitación en herramientas computacionales para la simulación, tratamiento de datos y elaboración de informes técnicos.

3.2. Semillero de Ciencia de Datos

En Colombia, la idea de semilleros de investigación surge como una iniciativa para la formación de generaciones de relevo de investigadores y se remonta a la década de los 80 y se consolida como un programa de alcance nacional con el apoyo del Departamento Administrativo de Ciencias, Tecnología e Innovación COLCIENCIAS para mediados de los años 90 (ver [48,49] y las referencias allí citadas). Desde sus inicios esta idea adquiere variadas expresiones dependiendo de la institución que los impulse. En la actualidad, esta idea se enfoca principalmente a la vinculación de estudiantes avanzados en las actividades de los grupos de investigación consolidados.

En nuestro caso esta iniciativa vinculó a estudiantes de pregrado de varias disciplinas de la UIS con el estudio y descubrimiento de fenómenos astrofísicos de altas energías y destellos de rayos gamma, mediante la minería y el análisis de grandes volúmenes de datos. Para ello, se trabajó en el marco del proyecto LAGO (*Latin American Giant Observatory*), una colaboración de 10 países hispanoamericanos (9 latinoamericanos y España) que estudian al Universo Extremo, fenómenos de Meteorología y Climatología Espacial, y Radiación Atmosférica con detectores de radiación cósmica terrestres [50,51]. Algunos detalles adicionales de esta colaboración se describen en el Apéndice.

El semillero se desarrolló durante el año 2014 con 12 estudiantes de entre el sexto y el octavo semestre¹⁸ de

¹⁸Todas las carreras tienen una duración de 10 semestres con una carga horaria típica de 14 a 16 horas de clases semanales

¹³<https://www.writelatex.com/>

¹⁴<https://www.virtualbox.org/>

¹⁵<https://xubuntu.org/>

¹⁶<https://www.ubuntu.com/>

¹⁷Fuente disponible en <http://halley.uis.edu.co/archivos/xubuntu-f0-32.zip>.

la carreras de Física, Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga-Colombia. A lo largo de 16 encuentros de cuatro horas por semana se logró

- capacitar estudiantes en los conceptos básicos asociados al estudio de Astrofísica de altas energías, destellos de rayos gamma, minería y análisis de datos;
- preparar a los integrantes del semillero en el desarrollo de algoritmos computacionales para la búsqueda y clasificación de datos, enfocados en el estudio de fuentes de altas energías. Se hizo énfasis en la utilización de esquemas como el *Moving Windows Average*¹⁹ para la búsqueda de destellos de rayos gamma y objetos astrofísicos de emisión aperiódica;
- producir un algoritmo de identificación automática y corrección de la línea de base de los detectores del proyecto LAGO (ver Apéndice). El algoritmo desarrollado durante este curso ha sido aceptado por la colaboración LAGO como parte del protocolo base de análisis de datos oficial del proyecto [52]; y
- estudiar protocolos de preservación de datos a través de la Red de Repositorios LAGO, facilitando así el análisis de datos para el estudio y descubrimiento colectivo de fenómenos astrofísicos de altas energías en el marco del proyecto LAGO.

La metodología utilizada combinó exposiciones de los coordinadores del semillero y de los propios estudiantes para afianzar las lecturas realizadas. Además, se trabajó con frecuencia con el detector de agua Cherenkov -ubicado en las instalaciones de la Universidad- para ejemplificar los procesos físicos de las partículas al contacto con el agua, como son detectadas por el fotomultiplicador, el tipo de señal que genera y los conteos que registra la electrónica.

Para cumplir con los objetivos antes señalados se realizaron las siguientes actividades:

Conceptos de Astropartículas Durante 6 sesiones y con una frecuencia quincenal se realizaron seminarios enfocados al aprendizaje de los conceptos básicos de la Física de astropartículas. Revisando los mecanismos de transporte de rayos cósmicos, tales como Fermi de primer y segundo orden y la interacción entre éstos y el campo magnético terrestre. Asimismo, se discutieron algunos aspectos la Física de la medición del flujo de estas partículas con detectores de agua Cherenkov de la colaboración LAGO.

Técnicas y herramientas de ciencia de datos Para continuar con la formación profesional de los miembros del semillero se les capacitó en el desarrollo de algoritmos computacionales centrados en el tratamiento de grandes volúmenes de datos. Se prestó especial atención a la

utilización de los datos disponibles por la colaboración LAGO en su repositorio LAGOData y al uso arreglos de equipos computacionales de alto rendimiento. Esta actividad se distribuyó a lo largo en 10 sesiones, también con periodicidad quincenal y complementaron la formación práctica de los seminarios de formación en Física de Astropartículas.

Minería en LAGODatos, búsqueda de GRB En esta etapa, se discutieron nuevos algoritmos en el análisis de los datos utilizados actualmente por la Colaboración LAGO. La base de estos algoritmos consiste en re-escalar los datos, de tal forma que permiten la búsqueda de destellos gamma, GRB y fuentes de emisión periódica. Algunos de los resultados preliminares de esta actividad fueron discutidos en los seminarios GIRG y en los encuentros virtuales de análisis de la Colaboración LAGO. De esta forma se fortaleció la interacción con estudiantes, profesores e investigadores del grupo de investigación y de otros países miembros de la colaboración LAGO.

Socialización en línea El desarrollo y los resultados de las actividades realizadas en el semillero de investigadores fueron documentados en un portal web²⁰ destinado para ello así como también mediante herramientas WEB2.0. En este portal se encuentran las presentaciones utilizadas durante las sesiones de entrenamiento así como los códigos utilizados en las prácticas y aquellos realizados por los estudiantes. Esto permitió la generación de una bitácora de consulta que sirve como herramienta divulgativa de las actividades realizadas en el semillero.

4. Resultados Preliminares

Para el caso de la asignatura Introducción a la Física, los cambios propuestos se pusieron en práctica a lo largo de las ediciones 2013 y 2014 del curso. Tal como se dijo, este curso corresponde al primer curso de Física de los estudiantes que ingresan a la carrera de Física de la UIS. Para el año 2014, luego de la evaluación de los primeros resultados en el año 2013, se profundizaron aquellos factores que resultaron positivos (como por ejemplo, el trabajo colaborativo, las experiencias SOLE, la realimentación en el blog y el foro, las preguntas de Fermi, la implementación del *Tracker*) y se corrigieron aquellos en los cuales se observó que los estudiantes tuvieron mayores inconvenientes (especialmente aquellos relacionados con el aprendizaje de códigos de programación en simultáneo con la física que los mismos simulaban). El proceso de enseñanza-aprendizaje se logró mediante la evaluación continua de los trabajos prácticos, participación en clase, exposiciones orales e informes de los laboratorios virtuales, y gracias al permanente diálogo con los estudiantes durante el curso.

¹⁹Ver, por ejemplo, https://en.wikipedia.org/wiki/Moving_average.

²⁰<http://halley.uis.edu.co/SemilleroDatos/>

La identificación de algunas de las falencias del curso se obtuvo gracias a la realización de encuestas anónimas al final de cada curso. En términos generales, nuestra muestra se compone con 48 estudiantes de la cohorte 2013 y 47 estudiantes de la cohorte 2014. Las encuestas consistieron en una serie de 30 preguntas. Las preguntas se dividieron en ocho secciones, orientadas a evaluar distintas facetas: el curso, los profesores, la relación con el curso, su experiencia de aprendizaje, su preparación previa, la forma de evaluar e informaciones adicionales, tendientes a contextualizar la situación personal de los estudiantes frente al curso, a la Universidad y a su preparación previa para la vida universitaria. Muchas de las preguntas aceptaban respuestas numéricas en el rango [1 – 5] (siendo 1 una respuesta totalmente negativa o desfavorable, y 5 una respuesta totalmente positiva o favorable), mientras que otras aceptaban respuestas textuales para recabar las opiniones personales de los estudiantes. Si bien las preguntas fueron anónimas, para preservar la privacidad de nuestros estudiantes sólo incluiremos en este trabajo aquellas respuestas que se orientan a su evaluación de esta propuesta metodológica. Los resultados se muestran en la Tabla 1 y se resumen en la Figura 1.

Las calificaciones del curso se conformaban mediante un promedio pesado entre las entregas de trabajos prácticos, informes de laboratorios y exposiciones en formato charla que los estudiantes debían presentar. Respecto al rendimiento de los estudiantes durante el curso, se observó una gran disminución en la tasa de deserción observada en esta asignatura respecto a años anteriores: $8/48 = 16,6\%$ para el año 2013 y $5/47 = 10,6\%$ para el 2014²¹. De los 82 estudiantes que finalizaron la cursada, un total de 67 aprobaron el mismo y 10 de ellos alcanza-

ron la máxima calificación, con un promedio de 3,95 y una desviación estándar de 0,7²². En el panel derecho de la Figura 2 se muestra un histograma de las calificaciones obtenidas por aquellos estudiantes que finalizaron el curso.

Entre los resultados más relevantes del semillero podemos destacar:

Dominio de herramientas y técnicas computacionales de alto rendimiento para el manejo de grandes volúmenes de datos. Los participantes adquirieron destrezas en la utilización del sistema operativo LINUX y programación en lenguaje Python. Dado la diversidad de las procedencias de los participantes, hubo que nivelar algunos estudiantes quienes no estaban familiarizados con esta plataforma de software libre. Se eligió *python* para realizar los cálculos y el análisis de datos fue por su gran versatilidad, facilidad para aprenderlo y su robustez. Para esta capacitación nos apoyamos en la plataforma en línea *codecademy*²³ que brinda un curso interactivo y general sobre este y otros lenguajes de programación modernos. Para las prácticas se utilizaron los datos del proyecto LAGO con los cuales se hicieron análisis básicos de cálculo de promedios y desviación cuadrática. En esta fase se aprovechó para hacer una descripción detallada de los datos y hacer pruebas con los datos de forma remota usando la terminal de Linux.

Mejora del Algoritmo para identificar fuentes aperiódicas y creación de código de validación. Se estudió y mejoró el algoritmo utilizado para la búsqueda de fuentes de astropartículas de emisión aperiódica. Teniendo en cuenta que el tipo de fuentes que se buscan son destellos gamma se duplicó la ventana de muestreo

²¹Debe aclararse que la deserción, y especialmente en los primeros cursos, puede deberse a factores externos a un curso en particular, como ser: el rendimiento en otros cursos, problemas de índole personal, falta de adaptación a la vida universitaria, etc.

²² El rango de calificaciones va de cero a cinco, con los siguientes significados: 0, reprobado; (0 – 3), no aprobado; [3 – 5), aprobado; y 5 significa sobresaliente.

²³www.codecademy.com

Tabla 1: Encuesta final de cursada para las cohortes 2013-2014 del curso de Introducción a la Física de la Universidad Industrial de Santander. Las respuestas numéricas se evaluaban entre 1 (“estoy completamente en desacuerdo con la consigna”) y 5 (“estoy totalmente de acuerdo con la consigna”).

Consigna	Descripción	Promedio	Desvío
Califique globalmente a este curso	Apunta a que los estudiantes, utilizando sus experiencias y vivencias previas, califiquen esta nueva propuesta metodológica (ver histograma en el panel derecho de la Figura 2).	4.82	0.46
No tuve dificultades para entender y aprovechar el curso	Se complementó con una pregunta descriptiva. 1 significa que tuvo severas dificultades, 5 que no tuvo inconvenientes (ver Figura 1).	4.26	0.71
Después de concluir el curso, me siento más interesado/a por estudiar Física	1 significa que está completamente en desacuerdo con la consigna, 5 que está totalmente de acuerdo y el interés aumentó (ver Figura 1).	4.91	0.38
Las charlas invitadas, ¿le sirvieron para tener una visión más global de la investigación en física?	Pregunta orientada a evaluar la experiencia de las charlas invitadas de profesores de la Escuela de Física (ver Figura 1).	4.85	0.50
Me gustó la iniciativa del blog y disponer de los materiales en línea	Evaluación de la novedosa implementación de un blog con contenidos asociados al curso (ver Figura 1).	4.88	0.54
Hubiera preferido que todas las entregas fueran individuales	Durante el curso se incentivó el trabajo colaborativo. Esta pregunta se orienta a evaluar la experiencia en ese proceso. El 65% de los estudiantes prefirió la modalidad grupal.	N/A	N/A

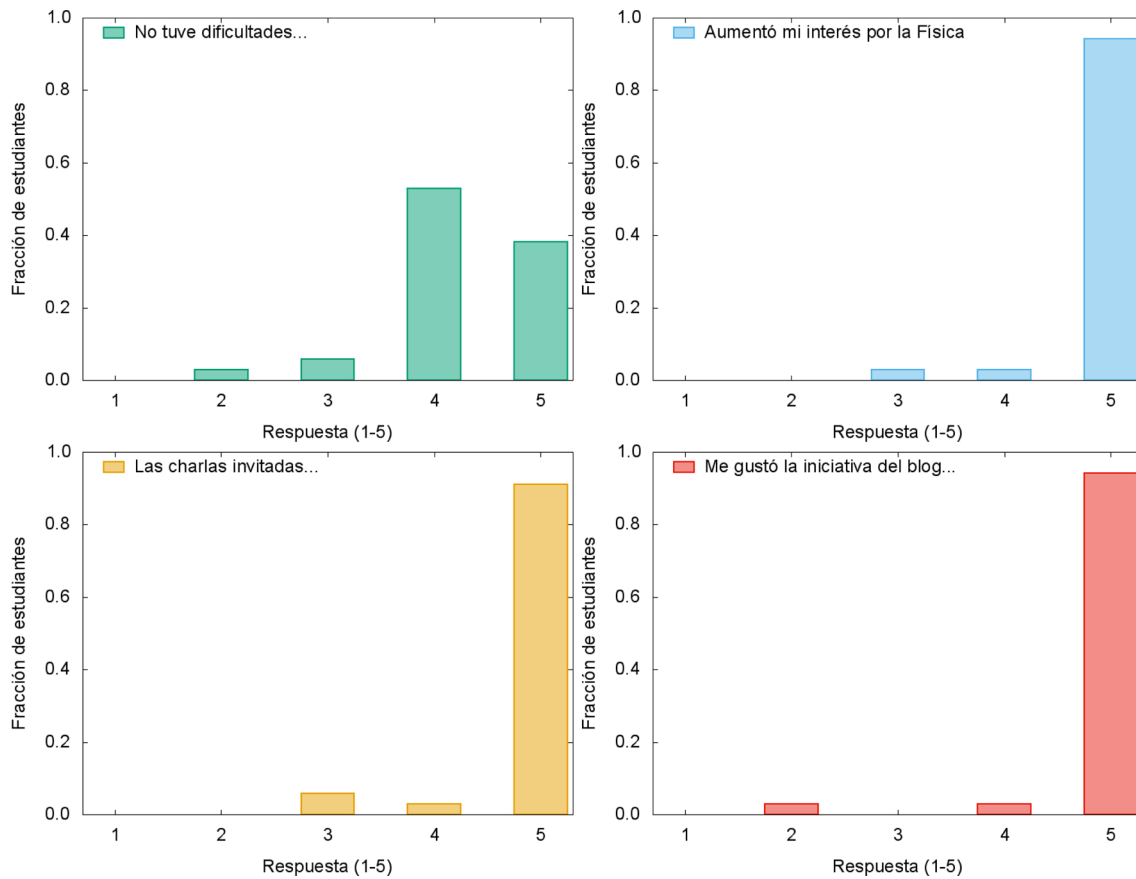


Figura 1: Resultado de las encuestas finales de las cohortes 2013-2014. De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: “No tuve dificultades para entender y aprovechar el curso”, “después de concluir el curso, me siento más interesado/a por estudiar Física”, “las charlas invitadas, ¿le sirvieron para tener una visión más global de la investigación en física?”, y “me gustó la iniciativa del blog y disponer de los materiales en línea”. Ver explicaciones adicionales en el texto principal y en la cuadro 1.

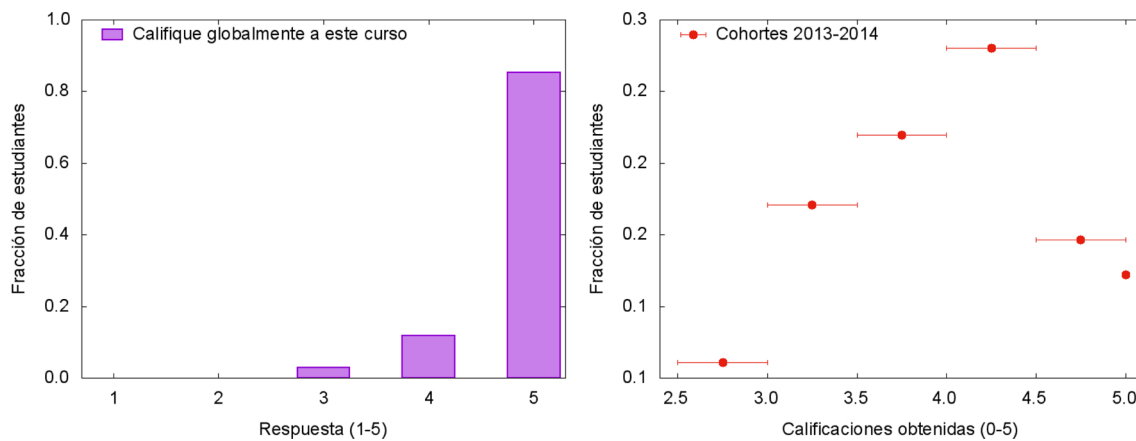


Figura 2: Izquierda: Respuestas dadas por los estudiantes durante las encuestas finales del curso ante la consigna “Califique globalmente a este curso” (véase la cuadro 1). Derecha: Calificaciones finales (ver nota al pie 22 para el significado de las mismas) de los estudiantes que finalizaron el curso ($82/95 = 86,3\%$ de los estudiantes inscriptos). En total, $77/82 = 93,9\%$ de los estudiantes que finalizaron el curso fueron aprobados, $10/82 = 12,2\%$ de ellos con la máxima calificación.

del algoritmo de la ventana móvil, de uno a dos minutos, con lo que se logró aumentar el número candidatos. Asimismo, se desarrolló un código²⁴ que revisa la estabilidad

de la línea base del detector generando una alarma de error cuando las fallas se vuelven persistentes, este código está ahora en la fase de evaluación y mejoramiento por parte de la Colaboración LAGO para ser incorporado

²⁴Códigos disponibles en: <http://halley.uis.edu.co/SemilleroDatos/codigos>

al sistema electrónico de adquisición de los detectores Cherenkov en agua del proyecto.

Incorporación de los estudiantes a grupos de investigación y participación en congreso internacional. Cumpliendo con los objetivos del programa de semilleros, varios de estos estudiantes ingresaron al grupo de investigación y realizan sus trabajos de grado, y algunos de los resultados han sido presentados en el Simposio Latinoamericano de Física de Altas Energías (X SILAFEA²⁵) [53–55].

5. Reflexiones finales

En este trabajo hemos descrito dos experiencias en las cuales se expone de manera temprana a estudiantes que inician sus estudios universitarios a los ambientes y metodologías actuales de producción de conocimiento. Estas experiencias se han desarrollado en dos contextos complementarios:

- uno formal, representado por un curso de Introducción a la Física para estudiantes de nuevo ingreso de la Carrera de Física de la Universidad Industrial de Santander en Bucaramanga-Colombia;
- y otro informal desarrollado a través de un semillero de investigación de Ciencia de Datos para estudiantes avanzados de Física e Ingeniería, también de la Universidad Industrial de Santander.

Ambas experiencias resultaron exitosas, motivando a los estudiantes a incorporarse actividades de investigación con una perspectiva multidisciplinaria. Los estudiantes del nuevo ingreso de Física ratificaron su interés en continuar la carrera con una visión más clara de su futura vida profesional. Para el caso del semillero los participantes tanto de Ingeniería como de Física lograron generar contribuciones modestas pero originales en la mejora de algoritmos de manejo de grandes volúmenes de datos. Tres de estos aportes fueron aceptado como contribuciones a uno de los congresos regionales más importantes de la disciplina.

En los últimos años se ha puesto especial atención a la relación entre el proceso de aprendizaje y la motivación de los estudiantes, con tres componentes reconocidos:

- estados motivacionales,
- ambientes de aprendizaje, y
- indicadores sociales de aprendizaje.

Tal como se explica en [56], la actitud del docente frente a la clase tiene influencias positivas o negativas en esas tres componentes, que pueden afectar tanto positiva como negativamente al proceso de enseñanza-aprendizaje. Desarrollar un entorno abierto, donde el flujo de información no tiene un único sentido, donde el docente se

convierte en un observador y un consejero en lugar de un instructor. De esta manera, bajo la guía del docente, el estudiante puede verificar la verdad o falsedad de sus propias ideas o afirmaciones y así construir y mejorar sus propias ideas y teorías. Esta actitud ayuda, además, a aumentar el nivel de auto-confianza del estudiante e incrementa la interacción con el docente y con el resto de la clase. Estudios recientes muestran también que la epistemología de los estudiantes, es decir, sus ideas acerca del conocimiento y del aprendizaje, afectarán la forma en que ellos aprenden [57]. Es por ello, que no sólo debemos enfocarnos en los contenidos programáticos si no también escuchar a los estudiantes y entender que es lo que ellos piensan sobre la física, e incorporar esas preconcepciones en la forma de encarar el curso.

Estamos conscientes que estos resultados son aún preliminares en función de la limitada estadística disponible hasta el momento, pero son alentadores y creemos que es imperioso insistir, por esta vía, a incorporar a los estudiantes (y a la sociedad en general) a la producción de conocimientos, apoyando todos los esfuerzos e iniciativas de ciencia ciudadana.

Las clases de Física deben dejar de ser entornos silenciosos, debe haber una activa y abierta discusión sobre los conceptos físicos que se están desarrollando. Este entorno genera que los estudiantes se sientan actores y partes, satisfaciendo su sentimiento de competencia y mejorando su interés por la materia de estudio. La exposición temprana a herramientas y ambientes profesionales de investigación, donde el descubrimiento es el motor del aprendizaje se alinea con las estrategias basadas en las referencias [8–10], las cuales descubrimos solo al final, al estar redactando este reporte.

Definitivamente, la Física debe dejar de ser un tema cerrado y definido, donde la única verdad es la que dicen los libros y que es transmitida por el docente, para convertirse en un tópico abierto y en evolución constante, donde el único y crucial punto de referencia se da por el contraste de los modelos o esquemas mentales con los resultados de los experimentos.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Dr. J. Martínez-Tellez, Director de la Escuela de Física, por su apoyo y entusiasmo en el desarrollo de esta propuesta. Igualmente reconocemos el inestimable apoyo de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la Universidad Industrial de Santander y del Departamento Administrativo de Ciencias, Tecnología e Innovación COLCIENCIAS bajo el programa de Semilleros de Investigación en la Convocatoria No.617 año 2013. Igualmente agradecen el apoyo financiero del Fondo Regional para la Innovación Digital en América Latina y el Caribe, subvención 2013-314, que permitió desarrollar el módulo de cambio climático (Apéndice) y gran parte de los apoyos computacionales para ser descargados. Finalmente, dos de nosotros (HA

²⁵<http://csi.uan.edu.co:82/conferenceDisplay.py?confId=1925>

y CS) agradecemos el soporte financiero del proyecto de Articulación Docencia-Investigación VIE-5751/2014.

Supplementary material

El siguiente material suplementario está disponible en línea:

Apéndice

Referencias

- [1] M. Castells, *The Rise of the Network Society*. (Blackwell Publishers, Cambridge, 2000).
- [2] M. Castells, *The Internet Galaxy* (Oxford University Press, Oxford, 2001).
- [3] J. Travis, *Science* **319**, 1750 (2008).
- [4] T. Gura, *Nature* **496**, 259 (2013).
- [5] C.C.M. Kyba, J.M. Wagner, H.U. Kuechly, C.E. Walker, C.D. Elvidge, F. Falchi, T. Ruhtz, J. Fischer y F. Hölder, *Scientific Reports* **3**, 1835 (2013).
- [6] M. Zastrow, *Nature* **515**, 321 (2014).
- [7] W.A. Anderson, U. Banerjee, C.L. Drennan, S.C.R. Elgin, I.R. Epstein, J. Handelsman, G.F. Hatfull, R. Losick, D.K. O'Dowd, B.M. Olivera et al., *Science* **331**, 152 (2011).
- [8] J.M. Chevalier y D.J. Buckles, *Participatory action research: theory and methods for engaged inquiry*. (Routledge, New York, 2013).
- [9] E. Mazur, *Principles & Practice of Physics*. (Pearson Higher Ed., London, 2014).
- [10] J.M. Fraser, A.L. Timan, K. Miller, J.E. Dowd, L. Tucker y E. Mazur, *Reports on Progress in Physics* **77**, 032401, (2014).
- [11] M. Prensky, *On the Horizon* **9**, 1, (2001).
- [12] K. Trigwell, M. Prosser y P. Taylor, *Higher Education* **27**, 75 (1994).
- [13] M. Prosser y K. Trigwell, *Higher Education* **67**, 783 (2014).
- [14] R.L. Ackoff, *Journal of applied systems analysis* **16**, 3 (1989).
- [15] J. Rowley, *Journal of information science* **33**, 63 (2007).
- [16] H.N. Rothberg y G.S. Erickson, *Journal of Knowledge Management* **21**, 92 (2017).
- [17] G. Bellinger, D. Castro y A. Mills, *Data, information, knowledge, and wisdom*, disponible en <http://www.systems-thinking.org/dikw/dikw.htm>, accedido en 30/03/2018.
- [18] G. James, D. Witten, T. Hastie y R. Tibshirani. *An introduction to statistical learning* (Springer, New York, 2013) v. 112.
- [19] D. Silver, A. Huang, C.J. Maddison, A. Guez, L. Sifre, G. Van Den Driessche, J. Schrittwieser, I. Antonoglou, V. Panneershelvam, M. Lanctot, S. Dieleman et al., *Nature* **529**, 484 (2016).
- [20] B.M. Lake, T.D. Ullman, J.B. Tenenbaum y S.J. Gershman, *Behavioral and Brain Sciences* **40**, e253, (2017).
- [21] J.A. Valente, *Pesquisa, comunicação e aprendizagem com o computador*, disponible en http://cmappublic.ihmc.us/rid=1HXFXQKSB-23XMNVQ-M9/VALENTE_2005.pdf, accedido en: 30/03/2018.
- [22] T. Hey y A.E. Trefethen, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* **361**, 1809 (2003).
- [23] I. Foster, *Science* **308**, 814 (2005).
- [24] T. Hey y A.E. Trefethen, *Science* **308**, 817 (2005).
- [25] T. Hey y A. Trefethen, in *Grid Computing: Making the Global Infrastructure a Reality* (John Wiley & Sons Ltd, New Jersey, 2003), p. 809.
- [26] L.A. Núñez, *Deslinde* **58**, 69 (2015).
- [27] M. Nielsen, *Reinventing Discovery: The New Era of Networked Science* (Princeton University Press, New Jersey, 2011).
- [28] R.E. Scherr y D. Hammer, *Cognition and Instruction* **27**, 147 (2009).
- [29] J. Pereira-Moliner, E.M. Pertusa-Ortega, P.C. Zaragoza-Sáez, E. Claver-Cortés, M.D. López-Gamero, B. Marco-Lajara y J.F. Molina-Azorín, in *IX Jornadas de Redes de Investigación en Docencia Universitaria: Diseño de buenas prácticas docentes en el contexto actual* (Universitat d'Alacant, Valencia, 2011) p. 128.
- [30] M.E. Calzadilla. *Revista Iberoamericana de educación* **1** 10 (2002).
- [31] J. Wilson, *Cómo valorar la calidad de la enseñanza* (Paidós Iberica, Barcelona, 1995).
- [32] J. Gray y A. Szalay, *Commun. ACM* **45**, 50 (2002).
- [33] M. Bardeen, E. Gilbert, T. Jordan, P. Nepywoda, E. Quigg, M. Wilde y Y. Zhao, *Future Gener. Comput. Syst.* **22**, 700 (2006).
- [34] C. Borgman, *Computer Supported Cooperative Work* **15**, 359 (2006).
- [35] J. Keengwe, T. Kidd y L. Kyei-Blankson, *Journal of Science Education and Technology* **18**, 23 (2009).
- [36] C. Buabeng-Andoh, *International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology* **8**, 136 (2012).
- [37] P. Arenas-Díaz y R. Monroy-Allado, *La uis en cifras 2013* (Publicaciones Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2013).
- [38] A.J. Flanagan y M.J. Metzger, *New Media & Society* **9**, 319 (2007).
- [39] N. Selwyn, *Technology, Pedagogy y Education* **17**, 83 (2008).
- [40] N. Selwyn, *Schools and schooling in the digital age: A critical perspective* (Routledge, London, 2010).
- [41] J.M.P. Tornero y M. Pi, *La integración de las TIC y los libros digitales en la educación* (Grupo Planeta, Madrid, 2013).
- [42] E.F. Redish, J.M. Saul y R.N. Steinberg. *American Journal of Physics* **66**, 212 (1998).
- [43] R. González Duque, *Python para todos* ([s.n.], [s.l.], 2010).
- [44] D. Brown y A.J. Cox, *The Physics Teacher* **47**, 145 (2009).
- [45] L. Lamport, *LaTeX: A document preparation system: User's guide and reference. illustrations by Duane Bibby* (Addison-Wesley Professional, Boston, 1994).
- [46] F. Mittelbach, M. Goossens, J. Braams, D. Carlisle y C. Rowley. *The LATEX companion* (Addison-Wesley Professional, Boston, 2004).
- [47] IBM Global Education. *Virtualization in education* (White Paper IBM, Armonk, 2007).

- [48] L.F. Molineros Gallón, *Orígenes y Dinámica de los Semilleros de Investigación en Colombia La Visión de los Fundadores* (Universidad del Cauca, Popayán, 2008).
- [49] J. Quintero-Corzo, A. Munévar-Molina y F.I. Munévar-Quintero, *Educación y Educadores* **11**, 31 (2008).
- [50] D. Allard, I. Allekotte, C. Alvarez, H. Asorey, H. Barros, X. Bertou, O. Burgoa, M. Gómez Berisso, O. Martínez y P. Miranda Loza *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A* **595**, 70 (2008).
- [51] The LAGO Collaboration [H. Asorey]. in *Proceedings of the 33th International Cosmic Ray Conference ICRC 2013*, Rio de Janeiro, 2013, edited by R.C. Shellard (CBPF, Rio de Janeiro, 2013).
- [52] H. Asorey, P. Miranda, A. Núñez-Castiñeyra, L.A. Núñez, J. Salinas, C. Sarmiento-Cano, R. Ticona, A. Velarde y the LAGO Collaboration in *The 34th International Cosmic Ray Conference* (The Astroparticle Physics Conference, Hague, 2015).
- [53] R. Calderón, H. Asorey, L. A. Núñez y la Colaboración LAGO, *Nuclear and Particle Physics Proceedings* **267-269**, 424 (2015).
- [54] A. Estupiñan, H. Asorey y L.A. Núñez, *Nuclear and Particle Physics Proceedings* **267-269**, 421 (2015).
- [55] S. Pinilla, H. Asorey y L.A. Núñez, *Nuclear and Particle Physics Proceedings* **267-269**, 418 (2015).
- [56] H.E. Fischer y M.Horstendahl, *Research in Science Education* **27**, 411 (1997).
- [57] L. Lising y A. Elby, *American Journal of Physics* **73**, 372 (2005).