



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ARAGÓN

LA REALIDAD AUMENTADA EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA
APRENDIZAJE DEL ELECTROMAGNETISMO EN INGENIERÍA EN
COMPUTACIÓN, FES ARAGÓN: LA LEY DE GAUSS

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
INGENIERO EN COMPUTACIÓN

PRESENTA:
PEDRO URIEL MARTÍNEZ MARTÍNEZ

ASESORA DE TESIS:
DRA. GABRIELLA PICCINELLI BOCCHI



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

- Tesis realizada con el apoyo del programa

UNAM-DGAPA-PAPIME PE110418

- A mis compañeros de trabajo en el proyecto PAPIME, estudiantes y profesores, con quienes tuve la oportunidad de colaborar y conformar la comunidad EducAR.



- A los estudiantes que cursaban Electricidad y Magnetismo mientras desarrollé mi tesis, y a sus profesores, por permitirme ingresar a su espacio educativo para llevar a cabo mi investigación.
 - A mi padre, por su incansable apoyo.

Contenido

Introducción	2
Planteamiento del problema	2
Hipótesis	3
Objetivo	3
Metodología	3
1. Marco teórico	5
1.1. Las tecnologías de la información y la comunicación y las tecnologías para el aprendizaje y el conocimiento	5
1.1.1. Definición y características	5
1.1.2. Usos actuales y alcances	5
1.1.3. Importancia para la educación	7
1.1.4. Importancia para la educación durante la pandemia por coronavirus (COVID 19)	8
1.2. La Realidad Aumentada	13
1.2.1. Definición y características	13
1.2.2. Usos actuales y alcances	15
1.2.3. Importancia para la educación	17
2. Diseño de herramientas en realidad aumentada para la ley de Gauss	26
2.1. Antecedentes y contexto del estudio	26
2.2. Metodología del estudio	27
2.2.1. Revisión del Plan de Estudios de la carrera y del Temario de la asignatura	28
2.2.2 Trabajo con los estudiantes	30
2.2.3. Trabajo en equipo	30
2.2.4. Exposición de nuestra propuesta en foros de Educación y Tecnología	31
2.3. Dificultades en torno al estudio de la ley de Gauss	31
2.4. Opiniones de los estudiantes sobre su experiencia académica	33
2.5. Planteamiento y desarrollo de la propuesta de solución a las dificultades encontradas	34
2.6. Descripción de la implementación de la propuesta	35
2.7. Opiniones de los estudiantes acerca de nuestra propuesta	37
3. Aprendiendo la ley de Gauss con ayuda de realidad aumentada	38
Conclusiones y perspectivas	60
Conclusiones	60
Perspectivas	62
Apéndice	63
Diapositivas para la clase	63
Bibliografía	75

Introducción

Como parte de la solución a la demanda de educación superior en el área metropolitana de la Ciudad de México, en la Facultad de Estudios Superiores Aragón, se imparte, desde 1981, la Licenciatura en Ingeniería en Computación, en adelante ICO. Así, el principal objetivo ha sido formar profesionales en el amplio espectro de la computación, que cuenten con la formación teórica, práctica, social y cultural que les permita colaborar y competir con estudiantes y futuros egresados de cómputo e informática del resto de las instituciones que también ofrecen este tipo de estudios al interior del país.

El plan de estudios de la carrera establece que en tercer semestre los estudiantes deben estudiar de forma teórica y práctica la asignatura de Electricidad y Magnetismo, en lo subsecuente EyM. En ella, se plantea como eje temático a las ecuaciones de Maxwell: la ley de Gauss, la ley de Ampère, la ley de Inducción de Faraday y la ley de Gauss para el magnetismo, que constituyen las leyes fundamentales del electromagnetismo.

Planteamiento del problema

Hemos percibido que existen dificultades que impiden a los estudiantes comprender conceptos relacionados con las ecuaciones de Maxwell y con la asignatura de EyM en general. Debido a estas dificultades, con un grupo de trabajo conformado por estudiantes de la misma Ingeniería y de la carrera de Pedagogía, así como la profesora Gabriella Piccinelli, quien imparte EyM en la FES Aragón, decidimos investigar las características que debería presentar un adecuado proceso de enseñanza aprendizaje (PEA) en esta área, y con ello plantear una propuesta de solución a las dificultades en torno a la ley de Gauss.

Como principales causas de dichas dificultades, consideramos que se encuentran:

- Los estudiantes de ICO cuentan con escasa formación en el área de la física, pues la única asignatura de física que contempla su plan de estudios es EyM.
- Existe una brecha entre las expectativas que suelen tener los ingenieros en formación sobre el curso, piensan que este tendrá un enfoque mayoritariamente práctico y en realidad se trata de un curso ampliamente teórico, lo cual a su vez propiciaría desinterés y desmotivación por aprender.
- Las representaciones gráficas (dibujos o imágenes) de los fenómenos físicos relacionados con la ley de Gauss, que típicamente se encuentran en libros o los profesores dibujan sobre el pizarrón, posiblemente son insuficientes para que los alumnos comprendan adecuadamente la situación física.
- Para los ingenieros en formación, asignaturas donde pueden aplicar conocimientos para solucionar problemas con ayuda de la tecnología pueden ser

más interesantes que asignaturas como EyM, cuyo contenido teórico les ayuda formarse desde las bases de su área de conocimientos, y les permite reflexionar y aplicar la teoría para solucionar problemas a través del razonamiento y el análisis de situaciones físicas.

Desde el punto de vista de los estudiantes de ICO:

- Sería conveniente que los docentes recurran a herramientas tecnológicas para transmitir de manera adecuada ciertas ideas y conceptos sobre fenómenos físicos abstractos, que aporten elementos al PEA para motivar el aprendizaje de EyM, fomenten el interés y la participación.

Dadas las habilidades y el interés de los estudiantes en el uso de la Tecnologías de Información y la Comunicación (TICs), decidimos averiguar la forma de incluirlas en la propuesta, de tal manera que podamos transformarlas en Tecnología para el aprendizaje y el conocimiento (TAC), es decir, procurando aprovechar las bondades y ventajas de la tecnología para elaborar materiales que promuevan la construcción del conocimiento de manera conjunta entre docente y discentes. Así, nos resultó particularmente interesante la realidad aumentada, de ahora en adelante RA, una tecnología que permite combinar información digital con entornos reales en un solo contexto, como un aula de clases, para intentar crear representaciones de los fenómenos físicos que sean atractivas, sugestivas, interactivas y promuevan la participación de los estudiantes. Con esto, además de favorecer la visualización de dichos fenómenos respecto a como suele hacerse a través de dibujos o diagramas en soportes tradicionales (como libros o pizarrones), intentamos motivar el interés de los estudiantes por apropiarse de la tecnología durante su formación y, tal vez, influir en su proceso de análisis y abstracción.

Hipótesis

Con la construcción e implementación de un proceso de enseñanza aprendizaje que incluya RA, podríamos mejorar la comprensión de algunos conceptos electromagnéticos entre los estudiantes de Ingeniería en Computación.

Objetivo

Mejorar la comprensión de la ley de Gauss entre los estudiantes de ingeniería en Computación, a través de la construcción e implementación de un PEA que aborde los conceptos de forma progresiva e incorpore Realidad Aumentada.

Metodología

Para alcanzar nuestro objetivo, comenzamos haciendo una breve revisión del plan de estudios de ICO y del temario de EyM, lo cual nos permitió conocer su enfoque académico y con ello

empezar a vislumbrar un PEA adecuado. A continuación, trabajamos en equipo con los estudiantes participantes del proyecto, reflexionamos sobre cómo hemos enseñado y aprendido la ley de Gauss, organizamos seminarios para repasar y comprender la teoría correspondiente al tema, revisamos material bibliográfico sobre RA para delimitar el camino en la elaboración de la propuesta, nos dedicamos a realizar nuestro propio material en RA, a lo cual decidimos llamar visualizaciones en RA, decidimos cómo incorporarlas al PEA, y lo ensayamos para enmendar errores antes de presentarlo a quienes cursaban EyM en diferentes semestres. Por otro lado, con el apoyo de los compañeros de Pedagogía, trabajamos con estudiantes de diferentes grupos de EyM, nuevamente, en distintos semestres, acudimos al aula, para hacer observaciones pasivas de las clases, tomar notas de las dudas que surgían, de la metodología del profesor al impartir la clase y de la dinámica entre docente y estudiantes. Ocasionalmente apoyamos a quienes tuvieron dudas al realizar tareas o antes de presentar exámenes parciales, lo que nos permitió continuar identificando dificultades con el tema. También, luego de que cada grupo trabajó con nuestra propuesta, recabamos opiniones de los discentes, sobre su experiencia académica en ICO y durante EyM, y sobre cómo consideran que las TICs influyen en su formación. Para recibir retroalimentación y ponderar cambios que nos permitieran la mejora continua de nuestra propuesta, nos dedicamos a participar y compartir nuestro trabajo en eventos y foros académicos de Educación y Tecnología a nivel nacional e internacional.

A modo de cierre para esta introducción, mencionaremos brevemente el contenido de la tesis: en el primer capítulo, presentamos como marco teórico una breve descripción de las TICs, las TACs y la RA, también su respectiva importancia para la educación. En el segundo capítulo: Diseño de herramientas en realidad aumentada para la ley de Gauss, exponemos la metodología que usamos para identificar las dificultades alrededor de la ley de Gauss. También describimos el planteamiento y desarrollo de dicha propuesta, la forma en que fue implementada y su contenido. En el tercer capítulo: Aprendiendo la ley de Gauss con ayuda de realidad aumentada, incluimos la estructura y desarrollo de la clase de Ley de Gauss que construimos. Finalmente, damos a conocer las conclusiones que nos han permitido obtener todas estas actividades.

1. Marco teórico

1.1. Las tecnologías de la información y la comunicación y las tecnologías para el aprendizaje y el conocimiento

1.1.1. Definición y características

Las Tecnologías de la información y la Comunicación (TICs) son el conjunto de recursos, herramientas y programas que procesan, administran y permiten compartir información a través de dispositivos tecnológicos, como computadoras, teléfonos inteligentes, televisores inteligentes, reproductores de audio/video y consolas de videojuego (Universidad Nacional Autónoma de México. Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades, 2018).

Los tres conceptos involucrados en las TICs son (García, Godínez y Solís, 2012, p. 19):

1. La tecnología. Resultado de la aplicación de la ciencia al desarrollo de instrumentos, dispositivos y metodologías que pueden resolver problemas concretos en la vida de los seres humanos.
2. La información. Es el conjunto de datos que adquieren significado al ser transmitidos e interpretados entre individuos.
3. La comunicación. El proceso de intercambio de información entre individuos a través de sistemas de símbolos y signos.

Las tecnologías para el aprendizaje y el conocimiento (TACs), constituyen la unión entre las TICs y los conocimientos pedagógicos necesarios para aprovecharlas y producir contenidos educativos que promuevan el aprendizaje (Enríquez, 2013, p.2). Las TACs, además de procurar la inclusión digital de profesores y estudiantes, pretenden constituir una metodología que ayude a satisfacer las necesidades educativas contemporáneas (Enríquez, 2012).

1.1.2. Usos actuales y alcances

Hoy en día, el uso de las TICs es muy amplio y han permeado en prácticamente todos los ámbitos en la vida de los seres humanos, tales como el ocio, el entretenimiento, la educación, la administración pública, los negocios, el empleo, el comercio y la salud. Tanto los soportes, como los canales empleados por las TICs, están en constante cambio debido a los avances científicos, culturales y económicos.

A través del Programa de Integración de Tecnologías a la Docencia, la Vicerrectoría de Docencia de la Universidad de Antioquia (2015) expone que las principales características de las TICs son:

- Inmaterialidad. La digitalización de la información hace posible disponer de ella de forma inmaterial y almacenarla en grandes cantidades dentro de pequeños soportes. Así mismo, podemos acceder a información que se encuentre almacenada en dispositivos lejanos.

- Instantaneidad. Podemos obtener información y comunicarnos de forma prácticamente instantánea a pesar de encontrarnos a grandes distancias de la fuente o emisor original.
- Interactividad. Las TICs permiten la comunicación bidireccional entre personas, sin importar donde se encuentren. Esta comunicación puede realizarse a través de páginas web, correo electrónico, foros, mensajería instantánea (chats), videoconferencias, redes sociales, blogs o wikis, por mencionar algunos ejemplos.
- Automatización de tareas. Es posible programar actividades o tareas para ser realizadas por computadoras de manera automática y repetitiva (“¿Qué es la automatización de la TI?”, s. f.).

Por otro lado, las TICs se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de redes, terminales y servicios que ofrecen, como se reporta a continuación (Biblioteca Médica Nacional de la República de Cuba. Centro Nacional de Información de Ciencias Médicas, 2020).

1. Redes. Tienen como principal objetivo poder enviar y recibir datos que permitan compartir información y ofrecer servicios de telecomunicación. Por ejemplo, la telefonía fija y móvil, la banda ancha o las redes domésticas.
2. Terminales. Permiten la entrada, el envío y, en ocasiones, el procesamiento de los datos que viajan a través de las redes. Como ejemplos pueden mencionarse a las computadoras personales (PC, por sus siglas en inglés), los teléfonos inteligentes, los televisores inteligentes, los reproductores de audio y video, o las consolas de videojuegos.
3. Servicios. El correo electrónico es un ejemplo, así como la búsqueda de información (buscadores web), banca en línea, transmisión de audio y video bajo demanda (streaming), la señal de televisión (digital y/o analógica), el comercio electrónico, la administración y el gobierno electrónico, educación a distancia y videojuegos.

Internet y las telecomunicaciones son las TICs más extendidas en todo el mundo. Actualmente 4100 millones de personas (más del 53,6% de la población mundial) hacen uso de Internet y se estima que 57% de los hogares de todo el planeta ya contaban con acceso a Internet hacia finales del año 2019. Sin embargo, se calcula que aún existen 3600 millones de personas sin acceso a la red (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2019).

Actualmente el 97% de la población mundial vive en regiones donde existe cobertura de la telefonía móvil y un 93% cuenta con cobertura de redes 3G (International Telecommunication Union, 2019). Las redes 3G sirven para transmitir voz y datos a través de telefonía móvil a una velocidad hasta siete veces mayor que la permitida por una conexión telefónica estándar (Colaboradores de Wikipedia, 2020). Esta tecnología, que surgió en 2001, se puso en marcha por primera vez en América Latina en 2007 (Blasco, 2016).

La adopción generalizada del internet y su uso eficaz se enfrenta a obstáculos como la falta de competencias informáticas básicas y costos accesibles para la mayoría de las personas. Por ejemplo, se ha estimado que cerca de la mitad de la población no puede manipular un archivo

o enviarlo adjunto dentro de un correo electrónico (International Telecommunication Union, 2019).

1.1.3. Importancia para la educación

Desde el punto de vista educativo, las TICs se consideran herramientas que pueden facilitar la transmisión de la información y la comunicación, para contribuir al desarrollo de procesos cognitivos que conduzcan al aprendizaje (García et al., 2012).

Algunos autores han reportado que cada vez más profesores tienen una actitud favorable hacia la incorporación de las TICs al diseño de sus clases, véase por ejemplo García et al. (2012). La mayoría están dispuestos a mejorar sus conocimientos técnicos y pedagógicos con tal de que estas herramientas les ayuden a impartir clases más eficientes y versátiles ante diferentes ambientes de aprendizaje; logren impulsar el desarrollo de nuevas habilidades; propicien la motivación, comunicación y cooperación en sus alumnos. No obstante, esta aceptación hacia las tecnologías, hay quienes se sienten inseguros sobre cuál podría ser la manera más adecuada de integrarlas para conseguir una armoniosa relación entre tecnologías y pedagogía, de manera similar a como lo plantean las TACs.

Las TACs constituyen un modelo cuyo propósito es dirigir el uso de las TICs hacia un empleo más formativo que técnico, con el objetivo de aprender (alumnos) y enseñar (profesores). Pretenden conseguir que las TICs repercutan de manera importante en los métodos de enseñanza-aprendizaje, más allá de asegurar el uso y dominio de la tecnología. Se plantea cambiar la idea del aprendizaje “de” la tecnología por el aprendizaje “con” la tecnología, esto, de acuerdo con diferentes necesidades y perfiles de profesores y estudiantes. Teniendo esto en mente, la búsqueda y selección de la tecnología, así como de la metodología y la pedagogía, se vuelve más importante que la búsqueda del dominio técnico sobre dichas tecnologías (Lozano, 2011, p. 46).

También, en ese sentido han surgido las Pedagogías Emergentes con la intención de explorar las posibles aportaciones de las TICs al espacio educativo. Básicamente son un conjunto de enfoques e ideas pedagógicas con el objetivo de aprovechar el potencial comunicativo, informativo, colaborativo, interactivo, creativo e innovador de dichas tecnologías (Observatorio de Innovación Educativa, 2017). Por su parte, la mayoría de las investigaciones acerca de las TICs en el ámbito educativo se han centrado en indagar cómo estas tecnologías puedan ayudar a incrementar el rendimiento académico de los estudiantes, así como su motivación e interés por aprender (Molina, Muñoz, y González, 2016, p.2).

Aunque es común encontrar que en muchas escuelas se pretende enseñar con ayuda de las TICs, su adecuado aprovechamiento pedagógico no es algo que se considere consumado. En el sector educativo, persiste la opinión de que la transformación de las prácticas docentes aún es escasa para conseguir el aprovechamiento de las TICs en las aulas, también se considera que la tecnología avanza con mucha mayor rapidez al compararlo con los lentos cambios que acontecen en el proceso y los sistemas educativos (Armijos, 2013). Aún son pocos los casos en que ha sido exitoso el uso de las TICs de manera sistémica como elementos didácticos (Lombillo y Valera, 2012, p.6).

De acuerdo con Molina et al. (2016), en los casos en que existe desinterés por el uso de las TICs en las escuelas, puede estar relacionado con:

- Haber sido empleadas en modelos tradicionales de enseñanza que no se adaptan a los temas y problemas educativos actuales y que no satisfacen las necesidades de los estudiantes y de los profesores.
- Falta de claridad en los objetivos pedagógicos y las estrategias para lograrlos.
- Haber considerado a la tecnología como el fin único para el aprendizaje, sin tratar de evitar la llana transferencia de conocimiento, sin estimular los procesos que lleven a la comprensión y la construcción del conocimiento, y sin lograr ambientes de colaboración y participación activa.

Tanto la literatura revisada, como la propia experiencia, de la que se hablará más adelante, sugieren que una apropiada inclusión de las TICs en el ámbito educativo es un reto tecnológico, pedagógico y metodológico. Para lograrlo, es importante que estudiantes y profesores se involucren de manera activa en el proceso de enseñanza aprendizaje y realicen una adecuada construcción del conocimiento. Por su parte, el empleo acertado de las TICs en este proceso será posible en la medida en que sean consideradas desde el punto de vista que plantean las TACs y las pedagogías emergentes, es decir valorándolas como un apoyo y no como la parte central de la clase, entendiendo sus alcances y limitaciones (Martínez Martínez y Piccinelli Bocchi, 2019, p.9).

En la siguiente sección, abordaremos brevemente el panorama actual de las TICs en la educación y las TACs durante la pandemia por COVID-19.

1.1.4. Importancia para la educación durante la pandemia por coronavirus (COVID 19)

Las TICs han cobrado especial relevancia para la educación en el año 2020, durante la pandemia debida a la enfermedad por coronavirus SARS-CoV-2 (COVID-19). Las características de estas tecnologías, principalmente las de instantaneidad, interactividad y automatización, mencionadas anteriormente, han hecho posible que continúen realizándose clases (a distancia) y otras actividades académicas pese al cierre de centros educativos y el distanciamiento físico impuesto por los gobiernos para evitar contagios de coronavirus, así como prevenir la saturación de los sistemas de salud mientras no exista una cura o tratamiento.

El cierre de las escuelas surgió en medio del primer semestre del año y, durante el segundo persistió la crisis sanitaria. Por un lado, estas tecnologías son ampliamente aprovechadas, y por otro, han impuesto nuevos retos para estudiantes, profesores y autoridades educativas, tales como la adecuada migración de los cursos presenciales hacia plataformas digitales, mantener la comunicación entre estudiantes y profesores, y procurar una apropiada educación a distancia, tanto para quienes no cuentan con acceso a las tecnologías como para quienes si. Hacer frente a estos desafíos en medio de la pandemia ha provocado que la educación haya tenido que ingresar al siglo XXI mucho antes y con mayor rapidez de lo previsto (Brown, 2020).

En lo que respecta a la migración de cursos presenciales hacia plataformas digitales, existen una gran cantidad de herramientas, aplicaciones, contenidos e incluso metodologías que los

profesores han tenido que incorporar en muy poco tiempo para lograr impartir clases a distancia, y esta situación puede estar generando cierta inconsistencia o inestabilidad en ellos y en sus estudiantes (Brown, 2020). También, una apropiada enseñanza o aprendizaje a distancia se ha vuelto difícil de conseguir para quienes no cuentan con capacitación sobre el uso de las TICs (L. García, 2020). Para ganar terreno en este frente es muy importante el uso adecuado y crítico de la tecnología (Ponce Díaz, 2020) pues, aún garantizados el acceso y manejo de las herramientas tecnológicas, no se puede asegurar un uso adecuado de las mismas.

La imagen en la Figura 1 se puede considerar como una evidencia de este fenómeno. Se trata de un niño de preescolar en Estados Unidos que fue captado en foto por su madre, cuando lloraba por la impotencia de no comprender la clase a distancia en la que estaba participando desde su casa. En una entrevista ante un medio local, la madre del niño comentó que decidió compartir la foto para que otros padres y autoridades conocieran la frustración que sienten los niños cuando pretenden continuar con su educación desde sus hogares durante la pandemia (Redacción del periódico Excélsior, 2020).



Figura 1. Un estudiante de preescolar, frustrado por no poder comprender su clase a distancia. Imagen de la Redacción del periódico Excélsior (2020).

Las herramientas para realizar cursos a distancia, tales como aulas virtuales, bibliotecas digitales o videoconferencias, por mencionar algunas, no son nuevas, pues desde hace años han sido usadas en la educación abierta y a distancia. Sin embargo, su empleo en la educación presencial puede ser poco conocido (L. García, 2020).

Para trabajar a distancia es necesario transformar muchísimas cosas que en presencia pueden funcionar, pero a distancia no. Por ejemplo, dar una clase donde mayormente se habla puede ser difícil de seguir para los estudiantes de manera virtual. Hay que diseñar actividades donde los estudiantes estén activos desde un punto de vista cognitivo y donde se les pida que hagan y no solo que escuchen o vean. (Kriscautzky, 2020)

Por esto, es necesario conocer lo que las herramientas digitales pueden ofrecer y cómo pueden adecuarse para satisfacer las necesidades de estudiantes y profesores que antes de

la pandemia estaban habituados a la educación presencial. Para lograr esto, en prácticamente todas las instituciones educativas, se promueven los distintos usos que puede tener la tecnología para que los estudiantes puedan continuar con su educación a distancia. En particular, en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se ha elaborado el documento “Recomendaciones para la transición a la docencia no presencial”, donde se ofrecen 16 recomendaciones organizadas en tres bloques (L. García, 2020):

1. Adaptar el plan de clase a la modalidad no presencial.
2. Acompañar a los estudiantes en la modalidad no presencial.
3. El desarrollo personal y profesional como docente.

Dichas recomendaciones están basadas en la experiencia y conocimiento de la comunidad universitaria en las modalidades educativas abierta y a distancia, así como la literatura especializada en dichos temas. A continuación, de acuerdo con los bloques uno y tres, se retoman aquellas recomendaciones donde se relacionan las prácticas docentes y el uso de las TICs durante la pandemia.

- Bloque uno

Se recomienda a los docentes proponer a sus estudiantes actividades variadas, interesantes y desafiantes, para mantener su motivación y su participación activa frente a la pantalla, así como ser flexibles en cuanto a la solicitud, condiciones de elaboración y entrega de dichas actividades.

Si las actividades son siempre iguales es muy probable que los estudiantes se desanimen, pierdan el interés y dejen de realizarlas y si son demasiadas, seguramente no lograrán realizarlas todas... Pensemos en retos que involucren responder una pregunta o resolver un problema, para lo cual es necesario investigar, sintetizar información de diversas fuentes, procesar esa información, discutirla y crear un nuevo producto con la respuesta a la pregunta o la solución al problema. Ese nuevo producto necesariamente debe ser socializado, es decir, compartido con el grupo o a través de Internet y puede tener diversos formatos (textos, hojas de cálculo, imágenes, audios, videos, blogs, sitios web o un PDF compartido por correo)...Seleccione recursos de apoyo que faciliten el logro de los objetivos propuestos, por ejemplo: libros electrónicos (textos, apuntes del profesor, manuales...) informáticos (presentaciones en Power Point, CD), multimedios (simulaciones), seminarios web (webinar) y las herramientas de comunicación que brinda el espacio virtual de la plataforma tecnológica que se utilice como soporte. (Secretaría General de la Universidad Nacional Autónoma de México y Secretaría de Desarrollo Institucional de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2020, p. 13)

Al diseñar actividades a distancia, es importante considerar las posibilidades de los estudiantes para el acceso a espacios y recursos tecnológicos.

El informe de El Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos de la OCDE, mejor conocido como PISA 2018, indica que entre 9% y 30% de los estudiantes de 37 países adscritos a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), no tienen un lugar adecuado para estudiar en su hogar. Según datos del

TICómetro, diagnóstico de acceso y habilidades en el uso de TIC de la UNAM, en la generación 2020 del bachillerato el 16% de los estudiantes no tiene una computadora (PC o laptop) para estudiar desde casa. Si bien 95% tiene acceso a Internet, muchos lo tienen desde un teléfono celular. (Secretaría General de la Universidad Nacional Autónoma de México y Secretaría de Desarrollo Institucional de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2020, p. 15)

Por lo anterior, se sugiere evitar el abuso de las clases impartidas por videoconferencia, en su lugar, diseñar actividades que no requieran de conexión sincrónica, y flexibilizar los tiempos de entrega para facilitar la inclusión de la mayoría de los alumnos. De ser necesario realizar clases por videoconferencia, procurar grabar la clase y luego compartirla con aquellos que no pudieron conectarse, por ejemplo, a través de YouTube o servicios de alojamiento de archivos en línea que permitan compartir el enlace del video a los estudiantes.

También, se sugiere organizar y gestionar actividades de aprendizaje a través de opciones distintas a las aulas virtuales, tales como el correo electrónico, un grupo en una red social o herramientas para almacenar archivos en línea. No necesariamente se debe realizar la docencia en videoconferencias con la misma duración que las sesiones semanales, ni tampoco se debe crear un curso en aulas virtuales. Pero tampoco se debe llegar al extremo de solicitar a todos los estudiantes que envíen todas sus actividades al correo, porque se puede volver imposible de manejar si el profesor cuenta muchos grupos o muchos estudiantes.

- Bloque tres

Recomienda aprender sobre la educación a distancia y familiarizarse con ella, ya que es posible que ésta persista en el futuro cercano.

A través de los métodos y las tecnologías que se utilizan en modalidad no presencial, se pueden organizar e implementar las clases, mantener comunicación con los alumnos, incorporar recursos didácticos digitales, generar estrategias de colaboración y cooperación entre los estudiantes, así como evaluarlos y ofrecerles retroalimentación. Así, a pesar de la distancia social para la contención de la epidemia, se puede dar continuidad a la educación y propiciar aprendizajes significativos, críticos y reflexivos. Generar actividades de aprendizaje apoyadas con tecnologías digitales, va más allá de la operación práctica de las mismas. Representa un ejercicio intelectual que le permite al docente adaptarse a un modelo semipresencial o completamente a distancia (Secretaría General de la Universidad Nacional Autónoma de México y Secretaría de Desarrollo Institucional de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2020, p. 38).

Esta recopilación de recomendaciones reivindica la importancia del enfoque planteado por las TACs, pues plantean el aprovechamiento de las TICs de la mano de métodos y técnicas para ayudar a satisfacer las necesidades educativas contemporáneas. También, nos recuerdan que no todas las dificultades de la educación durante la pandemia tienen que ver con la tecnología, pues el segundo de los retos, mencionados al principio de esta sección, ha sido mantener la comunicación entre estudiantes y profesores para procurar una apropiada educación a distancia, tanto para quienes no cuentan con acceso a las tecnologías como para quienes sí. Aunque internet es una TIC que se ha convertido en una herramienta de

comunicación muy importante, muchos aún no cuentan con la posibilidad de acceder a la red desde sus casas, disponen de una conexión deficiente o definitivamente no existe cobertura de este servicio en donde residen, especialmente aquellos que viven en poblaciones alejadas de las ciudades (Brown, 2020). Situaciones como éstas pueden observarse en la Figura II, donde además vemos a profesores que se esmeran por continuar con el acompañamiento a sus estudiantes durante la pandemia.

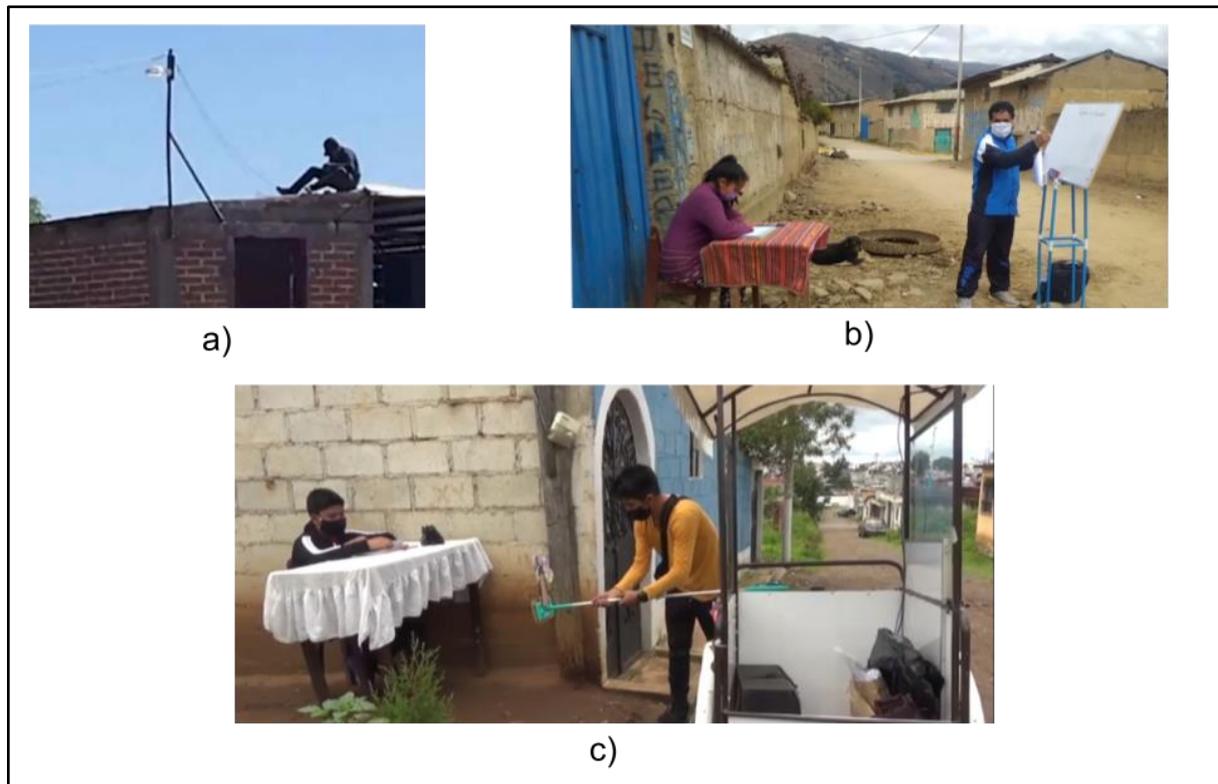


Figura II. Estudiantes y profesores de distintas regiones de Latinoamérica que durante la pandemia decidieron continuar con su educación, pese a no contar con conexión a internet u otras TICs. a) Un preparatoriano mexicano pasa su jornada escolar sobre el techo de su hogar buscando la señal de internet (imagen de Telemax Sonora [@telemaxson], 2020). b) Un profesor peruano diariamente camina varios kilómetros con su pizarra y altavoz para ir a dar clase fuera del domicilio de varios de sus estudiantes, al mismo tiempo, mantiene dos metros de distancia y usa cubrebocas. Imagen de Latina Noticias (2020, 0:00–0:28). c) Un profesor guatemalteco usa un triciclo que adquirió y modificó para ir a dar clases fuera del domicilio de cada uno de sus diez estudiantes, a más de un metro de distancia, con cubrebocas y gel antibacterial (imagen de China Xinhua Español, 2020, 0:00–03:10).

Ante los anteriores desafíos educativos durante la pandemia, es difícil decir que la mejor solución es que todos los estudiantes cuenten con una computadora y conexión a internet, porque eso no necesariamente implicaría acceder a una mejor educación. En los casos donde se ha optado por utilizar a las TICs, además de conocer técnicamente su manejo, se deberá considerar métodos y estrategias pedagógicas, tal y como lo plantea el concepto de las TACs.

1.2. La Realidad Aumentada

1.2.1. Definición y características

Actualmente existen sistemas informáticos que hacen posible la combinación de un entorno real con elementos virtuales, en distintas medidas. Estos sistemas pueden clasificarse de acuerdo con la escala de la Realidad-Virtualidad (Reality-Virtuality Continuum), postulada por Paul Milgram y Fumio Kishino en 1994. Como se muestra en la Figura III, la escala consta de un segmento de recta que une los extremos del entorno real y del virtual. Al espacio dentro de los extremos de la escala se le denomina realidad mezclada (Alsirhani, 2012).

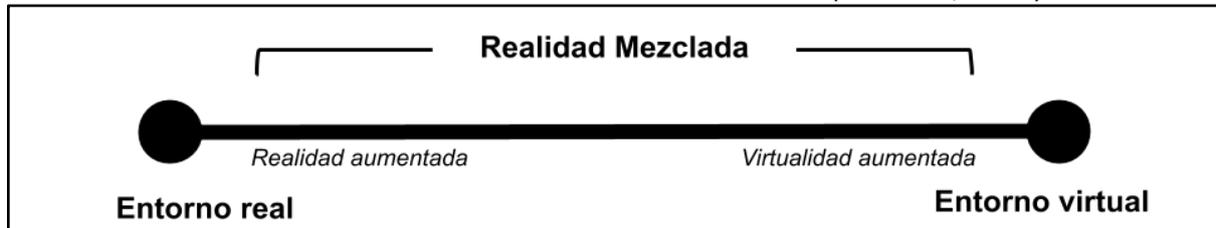


Figura III. Escala de la Realidad Virtual. Elaboración propia.

En el extremo derecho de la escala, están los sistemas que se denominan como realidad virtual (RV). Estos sistemas simulan escenarios con los que las personas pueden interactuar, ofreciendo experiencias al margen de la realidad con ayuda de imágenes, videos y sonidos que, combinados, pueden crear la sensación de encontrarse dentro de un mundo virtual. Dentro del área correspondiente a la realidad mezclada, se encuentran la realidad aumentada (RA), cercana al extremo izquierdo (entorno real), y la virtualidad aumentada (VA), cercana al extremo derecho (entorno virtual). La ubicación de la RA dentro de la escala nos dice que se trata de una realidad mezclada, en la que se combinan predominantemente los entornos reales con elementos virtuales que son generados por un sistema informático, generalmente son imágenes, videos, textos o figuras en 3D.

En 1992, la expresión “realidad aumentada” fue propuesta por ingenieros de la empresa estadounidense Boeing (Caudell y Mizell, 1992), famosa por fabricar y vender aeronaves. El término correspondía al resultado ofrecido por un Head Mounted Display (HMD), un dispositivo colocado sobre la cabeza, con una pantalla y forma de gafas, que proyectaba los planos del cableado necesario en una aeronave y que tenía el objetivo de capacitar a los técnicos dedicados a instalar dichos cables. Como se puede apreciar en la Figura IV, el HMD le permite al técnico observar la proyección de un globo de texto virtual que tiene las indicaciones para perforar una pieza a una determinada longitud y en un sitio específico durante el proceso de manufactura de un avión.

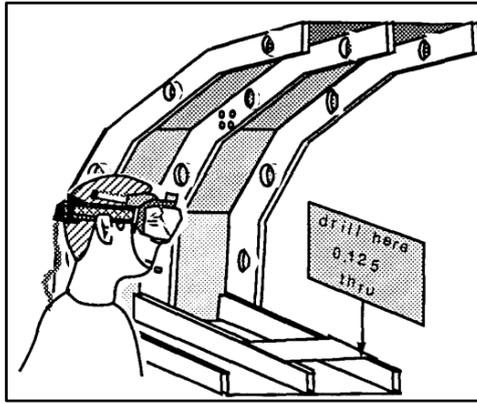


Figura IV. Dispositivo para proyectar planos y ayudar a instalar el cableado durante la manufactura de una aeronave. Imagen tomada de "Augmented Reality: An Application of Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes", por Thomas Caudell y David Mizell, en 1992.

Una definición de RA dice que ésta permite a sus usuarios observar el mundo real combinado con objetos virtuales, incluso a tal grado de que parezca que ambos coexisten en el mismo espacio (Azuma,1997).

Independientemente del dispositivo tecnológico empleado, todo sistema de RA debe cumplir con tres principales características (González Morcillo, Vallejo Fernández, Albusac Jiménez, & Castro Sánchez, 2012):

1. Poder combinar el mundo real y virtual. El sistema debe ser capaz de incorporar información digital con imágenes del mundo real.
2. Ser interactivo en tiempo real. La interacción entre lo real y lo virtual debe ser posible cuando el usuario lo requiera. Los típicos efectos especiales usados en el cine o la televisión, pese a que en ocasiones llegan a ser hiperrealistas, no se consideran RA, pues el espectador solamente podrá observar una secuencia de imágenes en dos dimensiones, sin poder interactuar con los personajes o la escena.
3. Lograr correspondencia entre elementos reales y virtuales en 3D. Debe ser capaz de lograr una sensación visual de correcta integración y eventual interacción entre lo real y lo virtual.

Los elementos necesarios para un sistema de RA son:

- Cámaras.
- Computadoras o dispositivos móviles con software específico.
- Monitores o pantallas.
- Disparadores o marcadores.

La cámara le permite al sistema capturar las escenas del mundo real con las que se van a mezclar los elementos digitales que genera la computadora o el dispositivo en cuestión. La computadora, con ayuda del software, genera y superpone la información digital a lo que la cámara capta. Para que la RA se active, es necesario que el sistema identifique y haga válida la existencia de un marcador o disparador dentro del entorno real y, finalmente, el monitor muestra la RA, tal y como si estuviéramos frente a una ventana a un mundo diferente, un nuevo contexto, donde la realidad es enriquecida con información y elementos virtuales.

La RA puede consistir en diferentes formatos: puede ser una imagen, un carrusel de imágenes, un archivo de audio, un video o un enlace (Blázquez-Sevilla, 2017).

Como posibles disparadores se encuentran imágenes, objetos o códigos QR, cualquier marcador debe tener ciertas características de forma o visuales, que le permitan al sistema determinar el momento y sitio exacto en donde se mostrará la RA.

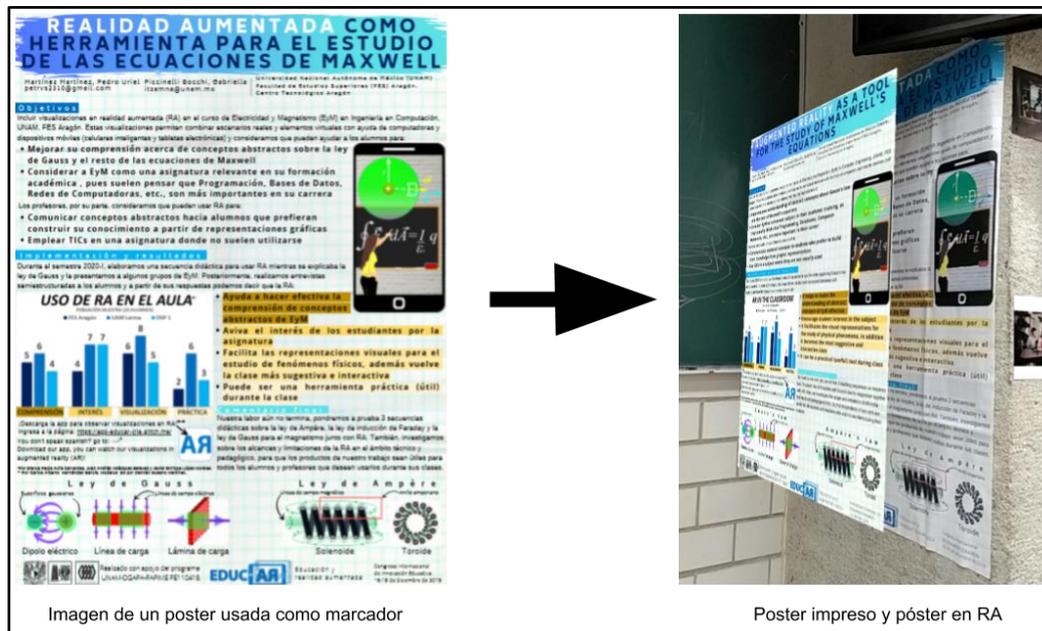


Figura V. La imagen completa de un póster (izquierda) es utilizada como marcador para mostrarlo en un idioma distinto con ayuda de RA a través de un teléfono celular. En la parte derecha, se observa una captura de la pantalla del celular, donde aparece el póster impreso en español y pegado a un muro, al mismo tiempo que la RA le permite ver el póster en inglés a una persona no hispanohablante. Elaboración propia para el Congreso Internacional de Innovación Educativa 2019.

1.2.2. Usos actuales y alcances

Los sistemas de RA han podido ser aprovechados en diferentes ámbitos, tales como la industria, el entretenimiento y la educación.

Como uno de los primeros casos de uso de la RA en la industria, se puede retomar el de Boeing, citado en la sección anterior. Los ingenieros de Boeing argumentaban que la RA podría ayudar a reducir costos y hacer más eficiente el trabajo realizado por el personal durante la manufactura y ensamble de las aeronaves. Contar con RA durante la producción de una aeronave ayudaría a complementar la destreza y percepción humanas, indispensables para ensamblar millones de piezas de muy diversos tamaños y formas. Emplear un sistema de RA les permitiría a los trabajadores tener acceso a instrucciones, datos y especificaciones de ensamblado de los aviones de una forma mucho más específica y directa, que usando diagramas, guías de ensamblaje o marcas sobre piezas metálicas. En consecuencia, el uso de esta tecnología podría permitir reducir errores de fabricación que se convirtieran en costos extras (Caudell y Mizell, 1992).

Otras empresas que son líderes en el desarrollo y comercialización de tecnología, como Apple y Android (Google), comenzaron con sus propios desarrollos para sistemas, herramientas,

software y aplicaciones móviles basadas en RA. Apple ha desarrollado ARkit, una plataforma que permite desarrollar lo que denominan experiencias de RA en dispositivos móviles y para diferentes propósitos (videojuegos, redes sociales, educación, etc.). Android, por su parte, ha dispuesto ARCore como un kit de desarrollo de software para que las personas interesadas en desarrollar RA, puedan hacerlo con ayuda de teléfonos celulares y tabletas digitales que utilizan su sistema operativo. Herramientas como ARkit o ARCore se encuentran en continuo desarrollo para que la curva de aprendizaje sobre su funcionamiento sea cada vez más corta y muchas más personas que no sean especialistas en computación puedan crear sus propias experiencias o aplicaciones de RA.

Por otra parte, la RA ha permitido que las empresas comercialicen sus productos y servicios a través de contenidos interactivos que pueden estar enfocados a diferentes perfiles de sus consumidores. Como resultado, las empresas han incrementado sus ventas, se han expandido hacia nuevos mercados, han llegado a nuevos públicos, principalmente los jóvenes, y han podido abrir nuevos canales de comunicación con sus clientes (Thomas, 2014).

Las actividades relacionadas con el turismo han aprovechado el uso de RA para promocionar sitios turísticos a través de aplicaciones móviles. Existen aplicaciones gratuitas para viajeros, sin acceso a internet, que permiten explorar espacios turísticos, como monumentos, restaurantes, etc. Por ejemplo, un usuario puede usar su teléfono móvil para enfocar un monumento con la cámara de su celular y la app le muestra en tiempo real información en texto, audio o video acerca de lo que está viendo (Romero, 2019).

El videojuego Pokemon Go de la marca Nintendo, es quizá el caso de uso de RA más famoso y económicamente redituable de todos. Este juego, desarrollado por la empresa Niantic, ha sido y sigue siendo usado por millones de personas en todo el mundo a través de sus teléfonos celulares. Durante su primer mes en el mercado, logró alcanzar los cien millones de descargas ("Aplicaciones reales", 2019). El juego consiste en usar mapas de prácticamente cualquier parte del planeta, que le permiten saber a los jugadores en donde pueden encontrar a sus personajes (Pokemon) favoritos ("Aplicaciones reales", 2019). Las personas pueden trasladarse físicamente hasta un punto marcado en el mapa, usar la cámara de su teléfono para encontrar al personaje en cuestión y "atraparlo" en la realidad aumentada para añadirlo a su récord como jugador.

En 2018, la institución financiera BBVA apostó por el uso de RA para proporcionar a sus clientes un servicio de recomendaciones de compra y alquiler de inmuebles. La aplicación para teléfonos celulares Valora View fue puesta a disposición del público en general para que, luego de apuntar la cámara del teléfono hacia un determinado edificio, la aplicación comience a mostrar información acerca de viviendas cercanas en renta o venta. Si alguna de las opciones es del agrado del usuario, éste tiene la posibilidad de comenzar el proceso de adquisición o arrendamiento de su opción preferida, simular el cálculo de la hipoteca para el inmueble elegido, etc. (González Fresno, 2018).

En restaurantes y locales de comida, la RA ha permitido una nueva forma de presentar las cartas o menús que los comensales consultan para ordenar sus alimentos. Puesto que no todos los platillos pueden aparecer en fotos al mismo tiempo en muchos de los menús impresos que se ofrecen, los dueños de los restaurantes consideran que la RA podría ayudar a que sus clientes vean, en lugar de imaginar, la mayoría de ellos antes de pedirlos. Esto puede ayudar a apreciar la cantidad de comida en el platillo y su composición y producir por lo tanto

un mayor apetito. Algunas imágenes dentro del menú sirven como marcadores que pueden ser enfocados con la cámara de su dispositivo móvil, una vez que la aplicación digital en el teléfono celular reconoce de qué imagen se trata, a través de la pantalla aparece un texto que contiene información acerca de las principales características del platillo, su receta o información que pudiera resultar interesante para el comensal que se encuentra eligiendo lo que va a ordenar (Romanos, 2017).

En otros casos, existe una especie de videojuegos que los clientes pueden activar cuando se encuentran al interior de un restaurante. La aplicación simula la presencia de personajes animados en RA al interior del establecimiento con el objetivo de que las personas los busquen y los atrapen para ganar cupones de descuento en su consumo u otras promociones (“Autogrill apuesta”, 2017).

En diciembre de 2017, una cadena de cafeterías mundialmente famosa abrió una sucursal en Shanghai, China, en la que distintos sitios de la cafetería sirven como marcadores para activar la RA. Los clientes pueden tener una experiencia animada en RA que les permite conocer el proceso que lleva a los granos de café desde su cultivo hasta las bebidas que se ofrecen. (“Starbucks ofrece”, 2017).

Arquitectos y trabajadores de la construcción han tenido la oportunidad de ver sus proyectos de construcción durante sus diferentes fases con ayuda de RA. Existen sistemas basados en ARkit, que además pueden mostrar los proyectos a escala en RA. Estos sistemas le permiten a todos los involucrados en la construcción “llegar al más mínimo detalle de cada uno de los trabajos realizados, viendo la disposición de las estructuras, las instalaciones, accesibilidad o salidas de evacuación, entre otras muchas soluciones” (Solak, 2019).

Algunos de los más importantes museos alrededor del mundo han usado RA para ofrecer recorridos novedosos a través de sus salas. Por ejemplo, en el Instituto de las Artes de Detroit, han dispuesto un conjunto de dispositivos móviles que tienen instalado un sistema de RA y los visitantes pueden solicitar el préstamo de los mismos durante su visita. En una parte de la exposición, las personas pueden observar momias reales del antiguo Egipto y con ayuda de la RA pueden visualizar al interior de los sarcófagos, los vendajes y el esqueleto de la momia, (“Realidad aumentada llega a”, 2017). Así mismo, el Museo Nacional de Antropología e Historia, en la Ciudad de México, durante 2018, puso a disposición de sus visitantes la aplicación digital “Ver México” que permite observar 15 piezas arqueológicas en RA. Cuando una de las piezas es detectada por la aplicación, un guía virtual (un personaje animado) ofrece información relevante a los visitantes acerca de las piezas, así el museo pretende ofrecer mayores datos e información de los que aparecen en las fichas técnicas de cada pieza (MXCity Guía Insider, s. f.).

1.2.3. Importancia para la educación

Al igual que en los sectores comercial y turístico, el empleo de RA en actividades educativas despierta cada vez más el interés y la curiosidad de alumnos y profesores. Su facilidad de uso y acceso en los centros escolares aumenta rápidamente durante los años recientes debido al avance tecnológico. También, entre estudiantes y profesores persiste una creciente facilidad de acceso a dispositivos móviles como teléfonos inteligentes y tabletas electrónicas, mismos

que cuentan con todos los mecanismos y dispositivos necesarios para usar la RA (Akçayir & Akçayir, 2017).

La mayoría de las investigaciones en torno al uso de la RA en la educación aún siguen siendo catalogadas como exploratorias (Prendez, 2015), pero existen numerosas publicaciones que exponen diversos aspectos favorables de dicha tecnología para el proceso de enseñanza-aprendizaje.

De acuerdo con investigaciones documentales, como las que han realizado el Observatorio de Innovación Educativa (2017); Lainez, Chocarro de Luis, Busto y López (2018); M. Akçayir & G. Akçayir (2017) y Marín, Cabrero y Gallego (2018), entre los beneficios que la RA puede ofrecer a los estudiantes se encuentran los siguientes.

Beneficios al proceso de enseñanza-aprendizaje:

- Facilita la experimentación práctica de la teoría.
- Fomenta la reflexión sobre distintos fenómenos que se estudian durante una clase, mismos que puede ser difícil o imposible observar a simple vista.
- Fomenta la visualización de información, fenómenos, eventos y conceptos abstractos o invisibles.
- Fomenta el pensamiento crítico para la solución de problemas.
- Proporciona información en tiempo real para que los estudiantes puedan interactuar con ella.
- Genera actitudes positivas, motivación, interés y atención.
- Promueve que los alumnos disfruten del proceso de enseñanza aprendizaje, al convertir una clase que puede resultar aburrida en una clase más entretenida, dinámica, interactiva y creativa.

Beneficios a los alumnos:

- Vuelve más eficiente su ritmo de aprendizaje.
- Eleva su nivel de compromiso.
- Refuerza su atención, concentración, razonamiento, así como la memoria visual y auditiva (a corto y mediano plazo).
- Les ayuda a desarrollar habilidades espaciales, perceptivo motoras y temporales.
- Fortalece sus capacidades y competencias.
- Ayuda a desarrollar habilidades de comunicación con sus compañeros y profesores.
- Activa sus procesos cognitivos de aprendizaje.

A continuación, se expondrán algunas publicaciones que reportan el empleo de RA con grupos de estudiantes con quienes se han observado y comprobado uno o varios de los beneficios

enlistados anteriormente, haciendo énfasis en temas científicos y técnicos. Cabe mencionar que el más citado de estos beneficios en la literatura ha sido el aumento en la motivación de los alumnos por aprender.

Los profesores Del Cerro y Morales (2017) emplearon RA con 23 alumnos de una escuela secundaria en España durante la clase de Tecnologías, para estudiar características de algunas figuras geométricas en el espacio de tres dimensiones y analizar los beneficios de dicha tecnología y el impacto sobre su inteligencia espacial. Los participantes, que tenían bajo rendimiento en la materia usaron sus teléfonos celulares para descargar Junaio, una aplicación móvil, gratuita y desarrollada por terceros. Durante 8 clases, fueron acomodados en parejas debido a la poca disponibilidad de teléfonos con las características necesarias para usar la aplicación. Con la cámara integrada en los celulares escanearon diferentes códigos QR para que la aplicación les permitiera observar figuras en RA y con la posibilidad de observarlas desde todas sus perspectivas. La primera clase sirvió como introducción para los temas que iban a ser trabajados con RA y para explicar a los estudiantes la dinámica para las siguientes sesiones. En las siguientes sesiones, usaron 10 diferentes fichas de trabajo (a las cuales dieron el nombre de “materiales aumentados”), que tenían impresa una imagen bidimensional de distintas figuras sólidas, así como ejercicios prácticos en donde debían obtener las vistas principales de las figuras con ayuda de Junaio.

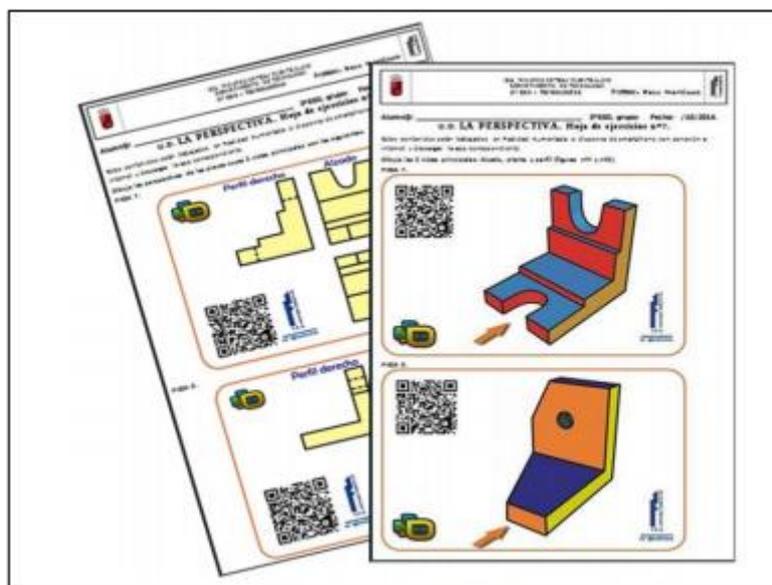


Figura VI. Dos ejemplos de las fichas de trabajo usadas por los estudiantes como “materiales aumentados”. Imagen tomada de Del Cerro y Morales (2017).

En la última sesión, evaluaron el impacto que tuvo la RA en la mejora de la capacidad de visualización y rotación espacial de los alumnos. Como resultado, los estudiantes tuvieron un desempeño de 6.12 puntos comparado con los 3.26 puntos que obtuvieron en una evaluación previa a las sesiones con RA.

También, se observó que los alumnos tuvieron una actitud positiva y receptiva ante el trabajo que realizaron, manifestaron un alto grado de satisfacción con el uso de RA, dijeron haber trabajado con mucha motivación e interés durante las clases y expresaron que el uso de la aplicación les ayudó considerablemente a aprender acerca de la rotación espacial de las

figuras. Además, mencionaron que les gustaría repetir la experiencia empleando RA para trabajar otros temas de Tecnologías.

Los investigadores Alvarado, Castañeda, Eslava y de la Cruz (2016), del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico de la Universidad Nacional Autónoma de México, acudieron a la Escuela Nacional Preparatoria (ENP) 5 “José Vasconcelos” y a la ENP 8 “Miguel E. Schultz”, para realizar un estudio comparativo del antes y después de realizar un trabajo práctico con ayuda de RA en un grupo de alumnos. Se abordaron los temas “Elementos Químicos” y “Compuestos”, mismos que forman parte de la asignatura Química III. En el estudio participaron noventa y ocho alumnos divididos en equipos y en sesiones de cincuenta minutos. Durante las sesiones, usaron tabletas electrónicas con la aplicación Elements 4D y cubos armados con papel que tenía impresos distintos marcadores que la aplicación debía reconocer para mostrar representaciones en RA de elementos químicos y compuestos. El trabajo práctico llamado “¿Elemento o compuesto?”, consistió en seis actividades, tanto individuales como en equipo. En cada actividad los alumnos debían interactuar con lo que veían, observar cuidadosamente y comparar características de las representaciones en RA para determinar aquellos que representaban elementos o compuestos.

Un par de semanas antes del trabajo con RA, los participantes respondieron a un cuestionario diagnóstico de 10 preguntas. Esto permitió conocer el nivel de conocimiento de los estudiantes sobre los temas que posteriormente estudiarían con RA. Al finalizar el trabajo práctico, los investigadores hicieron preguntas a los estudiantes, lo que les permitió percibir un aumento en la cantidad de términos que los alumnos usaban para referirse a los temas que trabajaron. En un cuestionario diagnóstico, los estudiantes usaron mayoritariamente términos sobre elementos y compuestos a nivel microscópico (átomos, moléculas y partículas). Al finalizar el trabajo práctico, los alumnos usaron además términos a nivel macroscópico (Tabla periódica, sustancias, símbolos, fórmula química, compuestos), es decir, hubo una mayor diversidad de formas de referirse a las características de los Elementos y Compuestos. De manera más específica, los estudiantes pudieron incorporar a sus conocimientos tres importantes características de los Elementos que antes del trabajo práctico no mencionaban:

- Que poseen características físicas.
- Que se presentan en cualquier estado de agregación.
- Que a partir de ellos se forman los compuestos.

No obstante, el incremento en los términos usados por los alumnos, no necesariamente implicó que dominaran su significado, lo cual se observó en la escasa argumentación de sus respuestas. También, los autores no aclaran si pudieron determinar si estos efectos hubieran ocurrido en caso de que los estudiantes hubieran trabajado sin RA.

Finalmente, cabe mencionar que la RA causó motivación, interés e incluso asombro en los alumnos. También permitió que pudieran manipular muestras virtuales de los elementos químicos, lo cual es muy poco frecuente incluso en un laboratorio, puesto que existen elementos químicos que son difíciles de adquirir por su elevado precio, o son peligrosos debido a su nivel de toxicidad.

Con el objetivo de impulsar el aprendizaje de temas de biología en estudiantes de educación primaria, un grupo de profesores colombianos, Restrepo, Cuello y Contreras (2015), realizaron una aplicación digital con RA para llevar a cabo un estudio con alumnos de una escuela primaria de su país. Más específicamente, el tema elegido para la aplicación fue “Reinos de la naturaleza”, los cuales aparecían en el menú principal en 5 opciones, correspondientes a “Animal”, “Vegetal”, “Hongo”, “Protista”, “Monera”. Una última opción era de “Evaluación”.

La aplicación fue instalada y presentada a los alumnos en tabletas electrónicas. Cuando los alumnos seleccionaban cualquiera de las opciones correspondientes a los reinos de la naturaleza, la aplicación les mostraba un submenú con opciones de subdivisiones del reino que acababan de escoger. Al tocar algún elemento del submenú, podían observar modelos 3D en RA que emulaban a seres vivos representativos de la opción que habían elegido.

La RA permitió que los estudiantes observaran la morfología de los seres vivos desde distintos ángulos y con animaciones que mostraban sus movimientos típicos. También pudieron obtener información básica del ser vivo en RA, a través de un panel que se desplegaba y se ocultaba en la pantalla.

En la “Evaluación”, los alumnos tenían que resolver un ejercicio de relación de columnas, en el cual estaban, por un lado, un conjunto de casillas vacías etiquetadas con los nombres de los animales y, por otro, diferentes dibujos o fotografías de los seres vivos que podían observar en RA, sin ninguna descripción. La aplicación evaluaba si la relación establecida era la correcta y, al finalizar el ejercicio, le mostraba al alumno su resultado final.

Los autores consideran que, con el desarrollo de este proyecto, se pudo observar el potencial que la RA tiene como herramienta didáctica para favorecer el aprendizaje de temáticas de la asignatura de biología, puesto que los estudiantes pudieron aprender sobre los reinos de la naturaleza de manera interactiva y divertida y la RA logró capturar su atención.

Un equipo de cuatro investigadores en Nueva Zelanda (Duenser, Walker, Horner, y Bentall, 2012) acudieron a una escuela secundaria, a principios de 2012, para poner a prueba un conjunto de tres libros sobre electromagnetismo, elaborados por ellos mismos, en los que incluían RA. A través de lo que denominaron como “un estudio piloto”, buscaron evaluar la efectividad de la RA para enseñar electromagnetismo, representando y comunicando conceptos abstractos que requieren de tres dimensiones para su visualización para, eventualmente, volver más efectivo su aprendizaje. Un grupo de 10 estudiantes fue dividido aleatoriamente en dos grupos, uno de los cuales estudió haciendo uso de la RA y el otro no. Al grupo que empleó RA se le instruyó sobre el uso de la tecnología. Para cada uno de los temas, existía una página dentro del libro que contenía un texto y una imagen o diagrama representativo. La imagen tenía dos propósitos: el primero de ellos era ilustrar gráficamente aquello que los estudiantes podían leer y el segundo cumplía la función de marcador para mostrar el mismo fenómeno electromagnético en RA y en tres dimensiones. Esta doble funcionalidad de las imágenes en los libros permitió que el grupo de alumnos que no usó RA pudiera ocupar el mismo material que el resto de sus compañeros sin sospechar de la posibilidad de que detrás de cada imagen existiera una representación en RA.

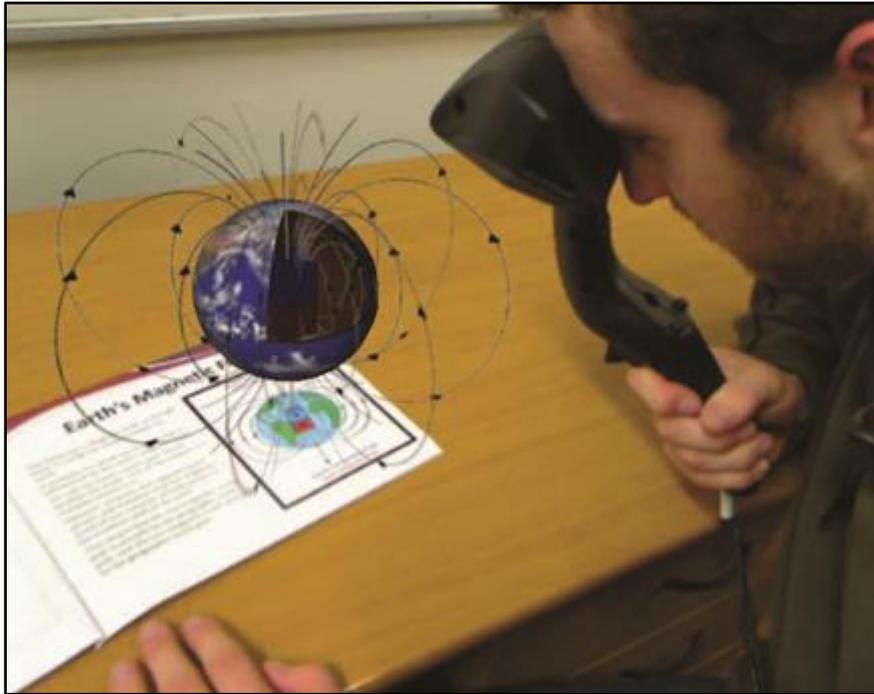


Figura VII. Una persona observa en RA una representación de las líneas del campo magnético terrestre sobre la página de un libro que fue utilizado por los alumnos como marcador y para estudiar electromagnetismo, dicha página también contiene una imagen que representa lo mismo en dos dimensiones. Imagen tomada de Duenser et al. (2012).

Se aplicaron cuestionarios antes y después de realizar el estudio, y también un mes después, para determinar el nivel de retención de los temas estudiados. Ambos cuestionarios únicamente hacían alusión a los temas contenidos en los libros que usaron y a ninguno de los participantes del grupo que usó RA se le pidió o permitió usar la tecnología mientras resolvían los respondían. Los resultados obtenidos fueron analizados de manera cualitativa más que cuantitativa, dado que el pequeño número de participantes no era suficiente para llevar a cabo mayores estudios cuantitativos. Se pudo observar que el grupo que usó RA obtuvo el más bajo porcentaje de aciertos en el cuestionario previo y posteriormente superó los resultados de sus compañeros que estudiaron los mismos temas sin RA. Los resultados de su estudio se presentan en la Figura VIII.

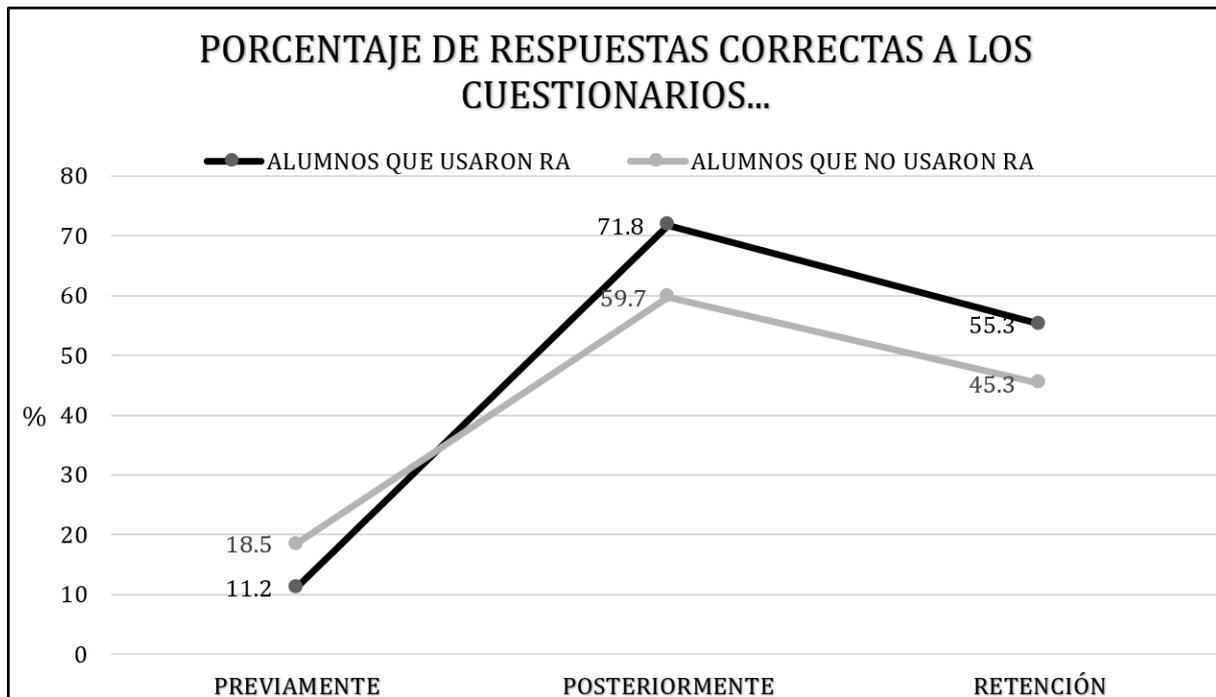


Figura VIII. Una gráfica que muestra el porcentaje de aciertos que obtuvieron los dos grupos de estudiantes al resolver tres cuestionarios (previamente, posteriormente y retención) durante el estudio. Gráfica elaborada como copia de la que aparece en Duenser et al. (2012).

Los investigadores concluyeron que la RA, de la mano con los materiales impresos que elaboraron, tiene el potencial de ayudar a que los alumnos comprendan conceptos complejos relacionados con fenómenos que ocurren en tres dimensiones. Consideran que la interacción que pudieron experimentar los estudiantes que usaron RA, provocó que se sintieran más involucrados en el proceso de enseñanza aprendizaje, pudieron construir su propio conocimiento a partir de manipular la información y las representaciones en RA, lo cual puede contribuir a un entendimiento más profundo de los conceptos y fenómenos electromagnéticos que estudiaron.

En un colegio en Madrid, España, durante el curso 2010-2011, la profesora Sánchez (2011), utilizó RA en su curso de Dibujo Técnico con el objetivo de que sus estudiantes de secundaria aprendieran a relacionar el sistema diédrico con el volumen. El sistema diédrico, es un sistema de representación geométrica que permite representar formas o figuras tridimensionales sobre un plano. La profesora buscaba una manera de que sus estudiantes pudieran observar y manipular sólidos en RA y en formato 2D para poder comprender sus distintas vistas (lateral, frontal y superior) y así desarrollar su capacidad espacial.

Un grupo de estudiantes de su propio curso ayudó a digitalizar un conjunto de sólidos con ayuda de un programa para modelado 3D por computadora y la profesora elaboró un cuadernillo con los mismos sólidos representados a través de sus vistas. En cada página del cuadernillo, además había un marcador para que el sistema en RA pudiera detectar y mostrar el sólido en cuestión.

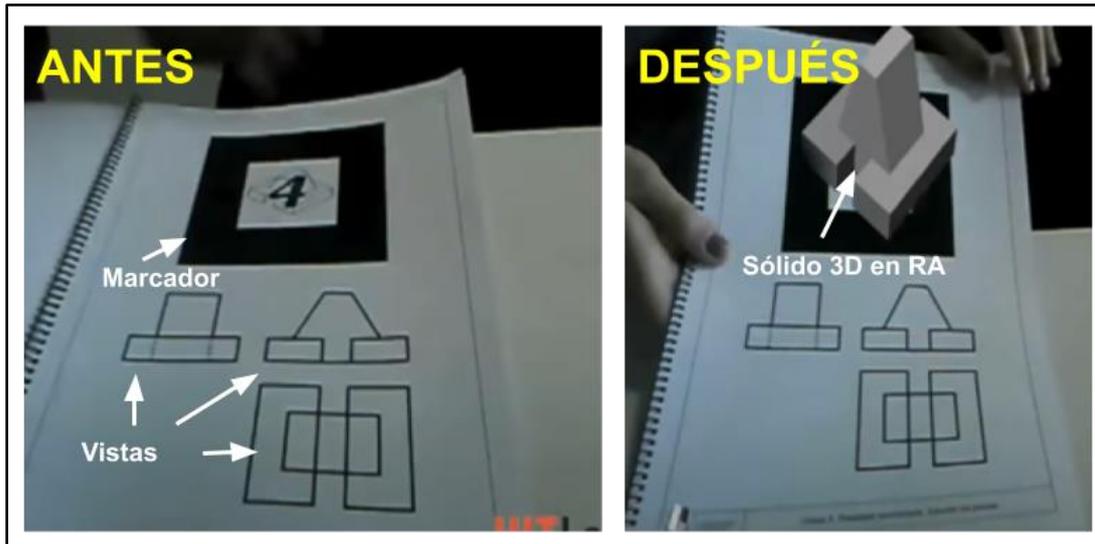


Figura IX. En la imagen se puede observar una página del cuadernillo de trabajo antes y después de que el sistema de RA reconozca el marcador y muestre el sólido en 3D, mismo que se representa a través de sus vistas sobre el papel, en la parte inferior de la página. Figura elaborada a partir de imágenes publicadas en Sánchez (2012).

Todos los alumnos que participaron en la actividad se mostraron interesados y entusiasmados de colaborar con su profesora, así como de mostrar sus avances y resultados con sus demás compañeros y otros profesores. En entrevistas realizadas, una vez concluida la actividad, los alumnos dijeron que darse cuenta de que podían llegar al resultado esperado les hizo involucrarse en mayor medida con los contenidos de la asignatura, que la actividad les hizo trabajar en equipo con otros de sus compañeros y sus profesores.

También, la profesora pudo notar que surgió la cooperación interdisciplinaria entre los alumnos y un profesor de Tecnología, puesto que los estudiantes se encontraron con la necesidad de juntar sus conocimientos de Tecnología con los de Dibujo Técnico y acudir con sus profesores en ambas asignaturas para comprobar si sus resultados eran correctos o solucionar dudas.

La autora menciona de forma puntual que sus alumnos:

- Adquirieron habilidades y competencias digitales.
- Reforzaron su habilidad para trabajar de forma autónoma y en equipo.
- Desarrollaron valores y habilidades como el respeto, la tolerancia y la cooperación.
- Aumentaron su capacidad visual con ayuda de la RA.
- Lograron comprender el tema de la clase, pues pudieron relacionar los diferentes sólidos con la representación de sus vistas.

Finalmente, en la literatura, se pueden encontrar algunas consideraciones generales sobre el uso de la RA para la educación. Fijar el objetivo a perseguir y el perfil de alumnos con quienes se quiere emplear RA, es una de las recomendaciones para crear contenidos educativos basados en dicha tecnología (Prendez, 2015). Algo en lo que concuerdan la mayoría de los educadores e investigadores es que la interactividad en la enseñanza es de gran importancia y al parecer la RA es una tecnología que propicia un alto grado de interacción (Roussou, 2004).

Por otro lado, el constructivismo, constituye el enfoque de enseñanza que muchos autores consideran más adecuado para llevar RA a las aulas. Esto, debido a que proporciona un marco para crear entornos en donde los estudiantes puedan interactuar, construir y deconstruir ideas, así como participar activamente en la elaboración de ideas que permitan solucionar problemas concretos (Roussou, 2004).

Para que la RA sea adecuadamente incorporada a un PEA, es muy importante que se acompañe de estrategias, metodología y capacitación (Martínez Martínez y Piccinelli Bocchi, 2019a, p.6). Al construir nuestro proceso de enseñanza-aprendizaje para algunos conceptos y leyes del electromagnetismo, que presentamos en el siguiente capítulo, tomamos en cuenta las experiencias educativas de los trabajos que revisamos y las recomendaciones de expertos en el tema.

2. Diseño de herramientas en realidad aumentada para la ley de Gauss

En este capítulo, se presenta el trabajo realizado durante un estudio acerca de los procesos de enseñanza aprendizaje de conceptos físicos relacionados con el curso de Electricidad y Magnetismo (EyM) de la Ingeniería en Computación (ICO) que se imparte en la Facultad de Estudios Superiores (FES) Aragón de la UNAM. Durante los semestres 2018-I, 2019-I, 2020-I y 2021-II se llevaron a cabo distintas actividades que permitieron identificar y proponer una solución a una serie de dificultades que le impiden a los estudiantes lograr una adecuada comprensión de la ley de Gauss, una de las cuatro ecuaciones fundamentales del electromagnetismo. Dicha propuesta se apoya en la RA, una TIC que permite combinar escenarios reales, como un aula de clases, con información digital para crear representaciones de los fenómenos físicos que los estudiantes deben saber, al mismo tiempo que intentamos mejorar la visualización respecto a los soportes tradicionales (como libros o pizarrones). Además, tomando en cuenta lo dicho en el capítulo 1, acerca de la importancia de la RA para la educación, exploramos los posibles efectos que puede tener en la motivación y el interés por aprender, la participación y tal vez la influencia sobre los procesos de análisis y de abstracción.

A continuación, se presentan los antecedentes y contexto del estudio realizado; la metodología que usamos durante su ejecución; las dificultades para los estudiantes que pudimos detectar en torno al PEA de la ley de Gauss y algunas de sus opiniones sobre ciertos aspectos de su vida escolar. A partir de esto, exponemos el planteamiento y desarrollo de la propuesta de solución, una descripción acerca de su implementación, y finalmente las opiniones de los estudiantes acerca de nuestra propuesta.

2.1. Antecedentes y contexto del estudio

El presente estudio, surgió del interés por conocer cuáles son las circunstancias que afectan y le impiden a un gran número de estudiantes comprender los contenidos de EyM. A partir de la intuición que proporciona la propia experiencia enseñando y aprendiendo EyM, entre un grupo de estudiantes que habían tomado el curso y la Dra. Gabriella Piccinelli Bocchi, quien lo imparte de forma regular, nos dimos a la tarea de comenzar a determinar dichos pormenores, para después idear una propuesta de solución en conjunto. Los primeros esfuerzos por llevar a cabo este estudio se realizaron como una iniciativa grupal e independiente y, poco tiempo después, surgió la posibilidad de consolidar la iniciativa en forma de una propuesta para el programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME) de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM. Luego de presentar y aprobarse dicha propuesta, quedaron establecidas las ecuaciones de Maxwell como eje de trabajo para tres años de actividades. El proyecto fue registrado oficialmente con el nombre “Realidad aumentada en la docencia para ingeniería” y clave PE110418, y extraoficialmente le llamamos Proyecto EducAR, cuyo nombre está compuesto por las primeras cuatro letras de la palabra Educación y las siglas en inglés que corresponden a la realidad aumentada, la tecnología que, en el PAPIME, determinamos emplear como apoyo a la solución de las dificultades. Del proyecto EducAR se desprende el trabajo presentado en esta tesis.

Una primera concepción sobre el origen de las dificultades entre los estudiantes recae en la posible escasa formación que tienen en el área de la física en el momento en que llegan a cursar EyM, ya que la única asignatura de física que contempla su plan de estudios es EyM. Otra de nuestras primeras percepciones fue que podría existir una brecha entre las expectativas que suelen tener los estudiantes del curso sobre un enfoque mayoritariamente práctico y un curso ampliamente teórico, lo cual a su vez propiciaría desinterés y desmotivación por aprender. Además, tuvimos la noción de que, en general, los ingenieros en formación prefieren asignaturas donde aplican conocimientos para solucionar problemas a través de la tecnología, por encima de aquellas como EyM, cuya parte teórica les ayuda a formarse desde las bases de su área de conocimientos. La materia les abre la posibilidad de que reflexionen y apliquen la teoría en la solución de problemas a partir del razonamiento y el análisis de determinadas situaciones físicas, antes que de la aplicación de prescripciones. Frente a esta última consideración, cabe aclarar que, si bien EyM cuenta con una carga horaria repartida entre teoría y práctica en el laboratorio, nosotros determinamos trabajar sobre la parte teórica, pues en ella es donde contamos con mayores experiencias compartidas entre la profesora y estudiantes participantes del PAPIME. Finalmente, consideramos que los docentes, por su parte, podrían apoyarse en el empleo de herramientas tecnológicas que les permitan transmitir de manera adecuada ciertas ideas y conceptos sobre fenómenos físicos abstractos, que aporten elementos al PEA que motiven el aprendizaje de los contenidos de EyM, fomenten el interés y la participación de los estudiantes.

Usamos todas estas experiencias y primeras nociones como punto de partida para el estudio, en primer lugar, alrededor del PEA de la ley de Gauss y después alrededor de las otras ecuaciones de Maxwell. En la presente tesis sólo se reporta el trabajo relacionado con la ley de Gauss y la metodología aplicada se presenta a continuación.

2.2. Metodología del estudio

Las actividades que se exponen a continuación dan forma a la metodología empleada durante el estudio presentado en esta tesis y hemos determinado ordenarlas de acuerdo con: la Revisión del plan de Estudios de la carrera y del Temario de la asignatura; el Trabajo durante clases y con los estudiantes; así como el trabajo en equipo con el grupo EducAR. Cabe resaltar que durante distintas etapas del trabajo procuramos recabar información para abarcar e incorporar al estudio la experiencia de la profesora y otros de sus colegas, las opiniones de los estudiantes participantes en el PAPIME y las de quienes cursaron o se encontraban cursando EyM, esto, con la intención de que la propuesta de solución a las dificultades pueda satisfacer a docentes y discentes. También, con ayuda de un grupo de pedagogos en formación, intentamos darle al trabajo cierto grado de interdisciplinariedad.

2.2.1. Revisión del Plan de Estudios de la carrera y del Temario de la asignatura

Repasar el plan de estudios 1279 de ICO y el temario del curso de EyM nos permitió contar con un panorama general del carácter académico que tienen, así como un mejor conocimiento de las condiciones y características del PEA esperado, para ser consideradas durante el estudio que aquí presentamos.

El plan de estudios se sustenta en los enfoques pedagógicos de tipo cognoscitivo y constructivista, dejando de lado el conductista, presente en planes pasados. La corriente cognoscitiva tiene como propósito el estudio, análisis y comprensión de los procesos mentales, haciendo énfasis principalmente en cómo se aprende y no en qué se aprende. A partir de esta corriente, se incorporan (1) las teorías del procesamiento de la información, que estudian la manera en que los sujetos incorporan, transforman, reducen, almacenan, recuperan, construyen y utilizan la información que reciben, (2) el aprendizaje significativo, el cual investiga el funcionamiento de las estructuras cognoscitivas de las personas, así como los mecanismos para lograrlo y (3) el aprendizaje instruccional, que enfatiza el valor del aprendizaje por descubrimiento. La parte constructivista propone que los estudiantes aprendan a través de la construcción del conocimiento, desarrollándose de manera gradual, a partir de las partes hacia el todo (enfoque holístico). Estos enfoques y corrientes, también permiten determinar las tareas principales del docente, fomentando el desarrollo y ejecución de los procesos cognitivos de los estudiantes, identificando sus conocimientos previos para relacionarlos con los que aprenderán, detectando las diferentes maneras de pensar, procesar y emplear la información (estilos cognoscitivos), y promoviendo la curiosidad, la duda, la creatividad, el razonamiento, la imaginación, la motivación y la toma de decisiones, evitando convertirse en transmisor de conocimientos de forma directa. Deberá diseñar situaciones de enseñanza y estrategias que le permitan a los estudiantes asimilar, comprender y recordar la información que se les presenta. Respecto a los alumnos, se plantea que debe ser el principal responsable de su propio aprendizaje, debe aprender a aprender, retener el conocimiento a largo plazo con ayuda de estrategias de aprendizaje que, además, le permitan mejorar su rendimiento académico. Finalmente, cabe resaltar que una característica/cobertura de función de los egresados deberá ser el desarrollo de sistemas para apoyo a la educación tanto presencial, como a distancia.

EyM, por su parte, se encuentra en el tercer semestre de ICO. El temario indica que es un curso de tipo teórico-práctico, de carácter obligatorio y se encuentra adscrito al área de conocimientos Arquitectura de Computadoras. Los objetivos del curso son:

- Que los estudiantes analicen los conceptos, principios y leyes fundamentales del electromagnetismo,
- Que desarrollen su capacidad de observación y su habilidad en el manejo de instrumentos experimentales.

Las asignaturas que lo preceden son:

- Álgebra
- Cálculo diferencial e integral
- Cálculo vectorial
- Geometría analítica,

y las subsecuentes son:

- Análisis de Circuitos Eléctricos
- Dispositivos Electrónicos
- Sistemas de comunicaciones
- Diseño Lógico
- Diseño de sistemas digitales
- Microprocesadores
- Microcontroladores

El curso se divide en seis unidades temáticas, la ley de Gauss es parte de la primera y es precedida por los temas de:

- Carga eléctrica
- Distribuciones continuas de carga
- Campo eléctrico
- Líneas de campo eléctrico
- Flujo eléctrico
- La ley de Coulomb

Las sugerencias didácticas son:

- La exposición oral
- La exposición audiovisual
- Resolución de ejercicios dentro y fuera de la clase
- Lecturas obligatorias
- Trabajos de investigación

Las sugerencias de evaluación son:

- Exámenes parciales
- Exámenes finales
- Trabajos
- Tareas fuera de clase
- Participación durante las clases
- Asistencia a prácticas de laboratorio

Finalmente, la bibliografía básica consta de dos libros:

- Hayt, William. Electromagnetic Engineering. EU, 6a Ed. McGraw Hill, 2001.
- Halliday D. & RESNICK R. Extended fundamental of Physics. EU, 6a Ed. McGraw Hill, 2000.

Elegimos como bibliografía de apoyo para la realización del estudio el segundo título, junto con los siguientes:

- Purcell, E. & Morin, D. (2013). Electricity and Magnetism. Estados Unidos de América: Cambridge University Press.

- Halliday D., RESNICK R. & Krane, K. (1992). Física, Vol. 2 Versión Ampliada. México: Compañía Editorial Continental.

2.2.2 Trabajo con los estudiantes

El grupo de tres estudiantes de Pedagogía y el tesista, determinamos acudir al aula para observar de forma pasiva las clases de la Dra. Gabriella Piccinelli Bocchi, al mismo tiempo que tomamos notas de aquellas dudas que expresaban los discentes durante las mismas, la metodología empleada para impartir el curso, así como las dinámica discente-docente. Durante el semestre 2020-II comenzamos a llevar a cabo estas mismas actividades en grupos de otros profesores que nos dieron previamente su consentimiento, pero el cierre de la Facultad debido a la pandemia por la enfermedad de coronavirus SARS-CoV-2 (COVID-19), nos impidió continuar. En ocasiones apoyamos a quienes expresaron dudas durante clase, durante la elaboración de tareas fuera de clase o en sesiones de repaso antes de sus exámenes, lo que a su vez nos permitió identificar de manera puntual aquellos temas que se les hacían más complicados. Lo siguiente fue recabar opiniones de quienes cursaban EyM. A través de entrevistas semiestructuradas¹, propuestas y llevadas a cabo por los Pedagogos durante sus actividades del Servicio Social, se pudieron recabar los puntos de vista de los estudiantes respecto a su experiencia académica durante sus estudios y más específicamente durante EyM, también acerca de cómo consideran que el uso de las TICs incide en su aprovechamiento, participación, motivación e interés por aprender durante una clase. Estas entrevistas, se hicieron después de que el grupo en curso había trabajado con nuestra propuesta de PEA con RA.

Aplicamos las entrevistas y llevamos a cabo sesiones de trabajo con nuestra propuesta también en el curso de Electricidad y Magnetismo en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma, con estudiantes de la Licenciatura en Ingeniería en Computación y Telecomunicaciones, y durante el curso de Física de último grado de la Escuela Nacional Preparatoria Plantel 1 “Gabino Barreda”, con estudiantes del área I “Ciencias Físico-Matemáticas y de las Ingenierías”, en el semestre 2020-I.

2.2.3. Trabajo en equipo

Comenzamos reflexionando sobre cómo hemos enseñado y aprendido EyM y más puntualmente la ley de Gauss. Además, revisamos y retomamos trabajos, algunos exámenes y tareas de semestres pasados y semestres en los cuales fue realizado el estudio, como evidencias que nos permitieran determinar fortalezas y dificultades. Luego organizamos seminarios grupales con el objetivo de que los estudiantes participantes comprendieran la teoría sobre campos vectoriales, cálculo vectorial y la Ley de Gauss, así nos aseguramos de que contaban con los conocimientos necesarios para contribuir adecuadamente al proyecto. También, empezamos a estudiar el marco teórico práctico alrededor de la RA, revisamos literatura y materiales multimedia que después usamos para empezar a crear RA, luego sometimos a la discusión grupal los resultados, y así definimos los pasos a seguir en la elaboración de la RA para el proyecto. Durante el desarrollo de lo que nosotros llamamos

¹ Entrevistas, análisis e interpretación de las respuestas (2020, agosto). Blanca Paola Ávila Cervantes, Javier Enrique López Morales y Juan Andrés Velázquez Estevez. Comunicación interna.

Visualizaciones en RA, profesores y científicos colaboraron con los alumnos participantes para prevenir la aparición de errores o inexactitudes científicas. A la vez que se desarrollaban las visualizaciones, se planificaba la manera de incorporarlas al PEA de la ley de Gauss. Una vez finalizados estos trabajos, se llevaron a cabo ensayos del PEA con sus visualizaciones con el propósito de detectar pormenores y mejorar el trabajo realizado antes de presentarlo frente al grupo en curso de EyM durante los semestres mencionados.

2.2.4. Exposición de nuestra propuesta en foros de Educación y Tecnología

Participamos en cuatro eventos, nacionales e internacionales, en los que expusimos nuestro trabajo y obtuvimos valiosas sugerencias de nuestros colegas. Los congresos en los que participamos son los siguientes:

- 4° Encuentro universitario de mejores prácticas de uso de TIC en la educación, #educatic2018, UNAM, Ciudad de México, México.
- 5° Encuentro universitario de mejores prácticas de uso de TIC en la educación, #educatic2019, UNAM, Ciudad de México, México.
- VIII Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria (TIBERO 2019), Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.
- 6° Congreso Internacional de Innovación Educativa (CIIE 2019), Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, México.

En algunos de estos congresos, se publicaron las memorias:

- Martínez Martínez, P. U., y Piccinelli Bocchi, G. (2018, julio). *Realidad aumentada en el proceso de enseñanza del electromagnetismo en ingeniería*. Ponencia presentada en el 4to. Encuentro universitario de mejores prácticas de uso de TIC en la educación, Ciudad de México, México.
- Martínez Martínez, P. U., y Piccinelli Bocchi, G. (2019, marzo). *Realidad aumentada para el estudio de la ley de Gauss con ingenieros en computación*. Ponencia presentada en el VIII Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria, La Habana, Cuba.
- Martínez Martínez, P. U., y Piccinelli Bocchi, G. (2019, julio). *Realidad aumentada y la innovación educativa para el estudio del electromagnetismo con ingenieros en computación*. Ponencia presentada en el 5to. Encuentro universitario de mejores prácticas de uso de TIC en la educación, Ciudad de México, México.

2.3. Dificultades en torno al estudio de la ley de Gauss

En esta sección presentamos las dificultades que pudimos detectar en torno al PEA de la ley de Gauss a partir de la metodología presentada.

Comenzaremos mencionando que, en general, observamos que los estudiantes aprenden el enunciado de la ley de Gauss y su ecuación, resuelven preguntas y problemas sencillos, sin embargo, no siempre logran interpretar el sentido físico de esta ley, ni aplicarla a una nueva situación física para extraer la información requerida. Cuando resuelven dichos problemas, en sus respuestas suele observarse un uso indiscriminado de ecuaciones, despejes y sustituciones, sin que existan mayores explicaciones de su parte, lo cual a su vez impide que el docente pueda vislumbrar el nivel de entendimiento sobre el tema. Las representaciones gráficas (dibujos o imágenes) de los fenómenos físicos relacionados con la ley de Gauss, que típicamente se encuentran en libros o los profesores dibujan sobre el pizarrón, posiblemente son insuficientes para que los alumnos comprendan adecuadamente la situación física que se está estudiando. Las siguientes dificultades son más específicas y aparecen agrupadas en tres conceptos implicados en la ley de Gauss: campo eléctrico y flujo eléctrico, superficies cerradas hipotéticas, y en torno a la ley de Gauss misma.

Campo y Flujo eléctrico:

- Comprender el concepto de campo, pues es un concepto abstracto y menos intuitivo que otros, como la fuerza.
- Entender y visualizar la configuración del campo eléctrico en función de la distribución de la carga eléctrica. Por ejemplo, al considerar una distribución de dos cargas puntuales del mismo signo que se encuentran muy cercanas, a los estudiantes les cuesta imaginar que conforme nos alejamos de ellas, las líneas de fuerza pueden considerarse casi radiales, similares a las de una carga puntual.
- Discernir entre las dos principales representaciones gráficas del campo; líneas de fuerza y vectores. Al intercambiar vectores por líneas llegan a tener la impresión de que se pierde la información relacionada con la intensidad del campo, cuando en realidad, en la representación con líneas, la intensidad radica en la separación entre éstas y, cuando se usan vectores, la intensidad se relaciona con la longitud de las flechas que los representan.
- Entender el flujo eléctrico, pues el flujo suele relacionarse con el movimiento de un fluido, pero para el caso de la electrostática no existen partículas que fluyan, entonces les suele costar entender el concepto de flujo de algo intangible y que no se mueve.

Superficie cerrada hipotética:

- Entender que una superficie cerrada existe en el espacio 3D.
- Imaginar la superficie en 3D a partir de su representación en 2D. En ocasiones, a las superficies cerradas se les representa por medio de siluetas o contornos planos, así, por ejemplo, para representar una superficie esférica se usa una circunferencia. Esta forma de representar a las superficies cerradas es muy conveniente para trabajar con herramientas como el pizarrón, un libro o una libreta, pues son formatos en los que se trabaja con dos dimensiones y las representaciones en tres dimensiones, en general, requieren más trabajo y destreza.
- Visualizar la dirección de los vectores diferencial de área en cada punto de la superficie cerrada.

- Interpretar el significado que tienen las integrales sobre las superficies cerradas.
- Entender la utilidad que puede tener una superficie hipotética para resolver un problema concreto.

La ley de Gauss:

- Reunir todo el conocimiento sobre los conceptos mínimos necesarios para entender la ley de Gauss (campo eléctrico, flujo eléctrico y superficie cerrada hipotética), pues, parecería que los conocimientos acerca de los fenómenos físicos que suelen analizar mientras estudian la ley de Gauss se van quedando aislados unos de otros.
- Comprender por qué las superficies gaussianas tienen que ser superficies cerradas.
- Aprender a decidir la forma apropiada para la superficie gaussiana en función de la distribución de carga, en ocasiones surgen las preguntas; ¿el resultado cambiará si cambia la superficie?, ¿cómo se aprovecha la simetría de la superficie para el cálculo del campo eléctrico?
- Entender en qué situaciones físicas el campo es uniforme sobre la superficie gaussiana y puede, por lo tanto, ser sacado de la integral.
- Entender el flujo neto a través de una superficie cerrada. Cuando se presenta este concepto, les cuesta entender que la forma o tamaño de la superficie cerrada elegida para calcular el flujo neto, no altera el resultado y que éste más bien depende de las fuentes o sumideros que se encuentren encerradas en la superficie.
- Determinar si las cargas cercanas externas a la superficie afectan al flujo eléctrico a través de ésta y si afectan al campo en un punto específico del espacio.
- Asimilar que un valor de cero para el flujo neto no implica que el campo sea nulo.
- Pasar de un modelo gráfico a una representación mental en 3 dimensiones que les permita visualizar la relación entre los vectores que representan a elementos infinitesimales de área y los vectores de campo eléctrico de un conductor.

2.4. Opiniones de los estudiantes sobre su experiencia académica

Lo que manifestaron los estudiantes en las entrevistas se relaciona con su experiencia académica: (1) durante sus estudios, (2) durante su curso de EyM y (3) cómo consideran que el uso de las TICs incide en su aprovechamiento, participación, motivación e interés por aprender.

Respecto a (1), en general, calificaron como “buena” la experiencia académica que han tenido durante su formación. Consideran que los métodos de enseñanza son predominantemente “tradicionales”. Algunos expresaron ser conscientes de la importancia de dominar conocimientos básicos para tener un buen aprovechamiento en cursos subsecuentes y que algunas de sus dificultades a nivel superior se relacionan con un deficiente aprovechamiento en materias similares que han cursado en niveles educativos pasados. A su juicio, cuando se

inscriben a una asignatura interesante o importante, procuran hacerlo con profesores que ellos saben que cuentan con “cierto nivel” o “cierta especialización” en el tema.

En relación con (2), opinaron que no es un curso sencillo, que es muy extenso, con demasiadas fórmulas, mucha teoría y poca práctica. Dijeron verlo como “importante” o “básico” para sus estudios, pero al mismo tiempo aceptaron no estar seguros de comprender cómo los ayudaría este curso a convertirse en mejores estudiantes y futuros profesionistas. También, hay quienes lo ven como un curso infructuoso o árido, por lo que prefieren obtener su calificación a través de un examen extraordinario.

En lo referente a (3), opinaron que las TICs sí son importantes durante su educación, pero lo es más la interacción alumno-profesor. También dijeron que toda materia puede ser interesante dependiendo de cómo la imparta el profesor y consideran que el uso de las TICs no necesariamente se relaciona con un buen curso, pues han tomado clases con profesores que les enseñaron o les explicaron los contenidos de su asignatura de manera clara y sencilla, y con un escaso uso de las mismas. En general, consideran que las TICs que suelen usar durante un curso, para ellos y sus profesores, tienen el objetivo de facilitarles tareas recurrentes, como elaborar, enviar y recibir tareas u otros documentos, hacer investigaciones y consultas sencillas en internet, proyectar diapositivas durante una presentación en el salón, usar materiales audiovisuales para repasar o estudiar, además de comunicarse, en ocasiones a través de plataformas o aulas virtuales, es decir, pocas veces las han usado de forma “didáctica”. Dijeron que cuando sus profesores les anuncian de manera anticipada que usarán TICs durante su curso, sí se sienten entusiasmados, interesados, con muchas expectativas sobre el aprendizaje que podrían obtener y motivados por involucrarse, sin embargo, opinan que sus profesores no siempre logran “sacarles provecho” y que muchas veces les resulta complicado entender el empalme entre la tecnología que usan y los contenidos del curso. También, consideran que este problema se agudiza cuando se trata de materias preponderantemente teóricas.

2.5. Planteamiento y desarrollo de la propuesta de solución a las dificultades encontradas

En vista de que los estudiantes sienten interés por usar TICs durante el PEA y especialmente los de ICO tienen la potencial habilidad de solucionar problemas empleándolas, pensamos en la posibilidad de incorporarlas a una propuesta de solución para las dificultades encontradas. Nos inclinamos por trabajar con RA después de tomar en cuenta distintas TICs. Así, decidimos explorar las ventajas que podría llevar consigo su uso como herramienta de apoyo en el PEA. De acuerdo con el capítulo anterior, pensamos que esta tecnología nos daría la posibilidad de crear representaciones de los fenómenos físicos bajo estudio, conjuntando objetos reales, como un objeto cargado, con objetos virtuales, como una superficie Gaussiana, y conceptos abstractos, por ejemplo, las líneas de campo eléctrico. Pensamos que estas representaciones, además podrían mejorar la visualización respecto a los soportes tradicionales (como libros o pizarrones), por eso decidimos llamarlas Visualizaciones en RA. También, consideramos que podríamos hacerlas atractivas para los estudiantes, sugestivas e interactivas, para promover su participación y motivación durante las clases sobre la ley de Gauss.

2.6. Descripción de la implementación de la propuesta

Con cada grupo de estudiantes que participó en las sesiones de implementación de nuestra propuesta (clases), siempre trabajamos en el horario y salón correspondiente a EyM, a excepción del semestre 20201-II, pues la pandemia sólo nos permitió trabajar a distancia a través de videoconferencia. Las sesiones en cada semestre fueron de un tiempo máximo 60 minutos. Antes de comenzar, sin la presencia de los estudiantes, preparamos e instalamos los materiales necesarios: conexión a internet, equipo de cómputo portátil (laptop), teléfono celular inteligente con cámara integrada, visualizaciones en RA, webcam con tripié, marcador para RA, pantalla de gran formato o en su caso proyector, diapositivas, apuntador y micrófono. Además de estos materiales, el resto de los que típicamente se usan durante una clase de EyM, como el pizarrón, marcadores, gises, libros, cuadernos de notas y demás mobiliario, también estuvieron presentes. A través de una presentación con diapositivas animadas y guiada por el profesor, explicamos el tema de forma secuencial, tratando de construir el conocimiento desde las partes hacia el todo (la ley de Gauss). Conforme la presentación avanzaba, en puntos específicos de ella usábamos el teléfono inteligente o la laptop, para acceder a las visualizaciones alojadas en páginas web y poderlas mostrar a todos los presentes a través de la pantalla de gran formato o el proyector. Al utilizar la computadora usamos la webcam con el tripié y al usar el celular ocupamos la cámara que lleva integrada, la primera nos permitió obtener una imagen de la RA sin muchos movimientos de lo que la cámara captaba en puntos específicos del salón y el segundo, permitió llevar consigo la RA a distintas partes del aula. Antes de mostrar cada visualización, aparecía en la presentación una imagen que representaba lo mismo que verían a continuación en RA, es decir, los estudiantes primero observaron y analizaron imágenes como las que suelen utilizar para estudiar el tema, y luego observaban y analizaban la misma representación con ayuda de RA. Durante cada visualización, el profesor sostenía el marcador o lo colocaba sobre el escritorio y lo manipulaba, ocultándolo, rotándolo o inclinándolo frente a la cámara, para que los presentes pudieran ver aquello que explicaba. En ocasiones, luego de cada visualización, planteábamos preguntas relacionadas con lo que acababan de ver y con aquello que el profesor sabía de antemano que presentaría a continuación, les daba oportunidad a los estudiantes para responder y tras una respuesta con un alto grado de intuición, se pasaba a la siguiente parte de la presentación, si tal respuesta no surgía, también continuaba la presentación e intentábamos volver a preguntar más adelante. Al final de cada clase se hacía una breve sesión de preguntas y respuestas, y en ocasiones se les permitía a los estudiantes observar nuevamente diapositivas o visualizaciones que desearan, se recogían los materiales y dejábamos listo el salón para la siguiente clase que tuviera lugar ahí. Todas las sesiones fueron grabadas en audio, para su posterior estudio y con ello hacer ajustes o mejoras hacia el próximo semestre en que se trabajara con un grupo distinto. También, cuando acudimos a la ENP 1 o a la UAM, los profesores que nos permitieron trabajar con sus grupos nos ofrecieron retroalimentación para mejorar nuestra propuesta, y como hemos mencionado, cuando intentamos hacer este mismo ejercicio con grupos de otros profesores dentro de la FES Aragón, la escuela tuvo que cerrar sus instalaciones debido a la pandemia de SARS-CoV-2.

Después de las exposiciones los estudiantes no tuvieron acceso a las visualizaciones o a las diapositivas, por motivos de mantener resguardado estos materiales hasta entregar la presente tesis y poder enviarlo a la Red Universitaria de Aprendizaje (RUA) para su evaluación y posterior publicación, así podrá estar a disposición de los estudiantes y profesores.

A continuación, para ofrecer al lector una imagen de la clase en donde implementamos nuestra propuesta, en la Figura X presentamos dos fotografías tomadas durante la exposición frente a estudiantes de la Escuela Nacional Preparatoria. La primera foto muestra una panorámica del laboratorio donde se realizó la exposición, al extremo izquierdo se observa la proyección de las diapositivas sobre el pizarrón con ayuda de una laptop y un proyector. En la segunda, el expositor explica a los alumnos mientras camina entre ellos para demostrarles el funcionamiento de las visualizaciones en distintas partes del salón con ayuda de un teléfono inteligente. Puesto que no todos pueden observar al mismo tiempo directamente la pantalla del teléfono, la imagen fue proyectada inalámbricamente hacia el pizarrón, por eso no todos los estudiantes observan al expositor o al teléfono que sostiene con su mano derecha, sino que continúan prestando atención al pizarrón.



Figura X. Fotografías tomadas durante la implementación de la propuesta frente a estudiantes de la Escuela Nacional Preparatoria.

2.7. Opiniones de los estudiantes acerca de nuestra propuesta

A continuación, exponemos algunas opiniones que nos compartieron los estudiantes, después de la clase, sobre la implementación de nuestra propuesta.

- “Te dan una forma más visual de aprenderlo, porque luego cuando estás aquí en el pizarrón, aunque la maestra trate de hacer sus diagramas, pues no son tan exactos como te lo quiere dar a entender.”
- “Si, ya había escuchado de ella (RA), principalmente por la carrera para la que estamos orientados y sí, nunca la había visto orientada hacia la educación, más bien como al entretenimiento, pero orientarla hacia la educación me parece una muy buena idea.”
- “Lo ideal sí sería la Realidad Aumentada y hacer como que un poco más interactivas las clases, porque luego hay profesores que nada más llegan, se sientan y se ponen a escribir, como que no te dan ganas de estudiar, si me va a dar clases así, mejor veo unos videos en internet y ya puedo aprender mejor.”
- “Me gustó mucho, de hecho, sí se lo comenté a la profesora si la intención era implementarlo a futuro para dar clases en la carrera y me dijo que sí sería una buena idea, pero todavía están en el proceso de mejorar los modelos y todo lo que utilizan en la clase, pero sí, me gustó bastante, me parece que fue al punto.”
- “Trabajar con RA en una clase como la que tuvimos, te da la sensación de que es una buena clase. Como que tienes la idea de que ese tipo de materiales se utilizan en otro tipo de instituciones, de un nivel más alto. Tenía la idea de que la UNAM no tiene tanto acceso a esas cosas (como la RA), o sea, si bien sí es una buena institución, no la puedes comparar con Harvard ¿no?, escuelas como esa, tienen todo tipo de medios para implementarla. Cuando nos dijeron que íbamos a tener clase de con Realidad Aumentada, dije: suena muy profesional, muy innovador.”
- “La RA si te obliga a poner atención, interactuar y a participar más en la clase y pensar de manera más lógica, la forma en que usaron la RA hace que tu cerebro trabaje mejor, llegué cansada a la clase, pero eso no me impidió entender lo que estaban diciendo. Entendí el tema, no a la perfección, pero si llegué al punto en el que dices este tema ya lo tengo, o sea, si te lo vuelven a mostrar te lo vas a aprender porque visualmente ya tienes una idea.”
- “Me gustó mucho la parte de 3D que me mostraron, entendí mucho más que cuando un profesor dibuja en el pizarrón y no puedes rotar (las imágenes) o ver hacia donde van las cosas.”

Recogiendo los resultados de nuestro estudio sobre el proceso de enseñanza aprendizaje de la ley de Gauss, a continuación, presentamos la propuesta que realizamos e implementamos para intentar solucionar las dificultades de los estudiantes.

3. Aprendiendo la ley de Gauss con ayuda de realidad aumentada

Basándonos en el trabajo y los hallazgos expuestos en el capítulo anterior, estructuramos y desarrollamos la clase de Ley de Gauss con ayuda de RA y diapositivas. La presentamos en este capítulo e incluimos las diapositivas en el apéndice. Las visualizaciones se encuentran alojadas en enlaces específicos (URLs) y los incorporamos dentro del siguiente texto, el marcador que permite observarlas e interactuar con ellas es el que aparece en la Figura XI.

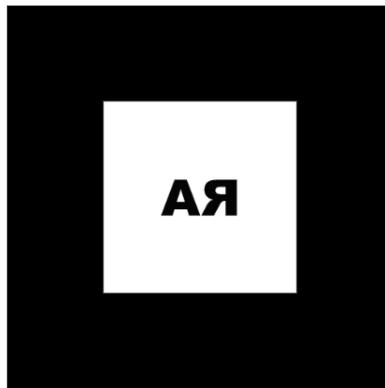


Figura XI. Marcador usado para observar las visualizaciones en RA. Para las clases frente a los alumnos, este fue impreso en una hoja blanca.

Durante esta sesión vamos a abordar la ley de Gauss, una de las ecuaciones de Maxwell, que son las ecuaciones fundamentales del electromagnetismo. El tema lo vamos a estudiar con ayuda de visualizaciones en realidad aumentada (RA), una tecnología que nos permite combinar información virtual con escenarios reales.

A continuación, les presento un listado de conceptos e ideas que necesitamos abordar para llegar a comprender la ley de Gauss. Estudiaremos cada uno de ellos gradualmente durante esta clase hasta llegar a la ley de Gauss.

- El flujo
- El campo eléctrico
- El flujo del campo eléctrico
- Superficies cerradas
- El flujo neto
- La ley de Gauss
- Aplicación de la ley de Gauss

- Preguntas
- Ejercicios

También, usaremos el siguiente código de colores (Figura XII) para identificar los conceptos y las cantidades que se representan en las imágenes y las visualizaciones.

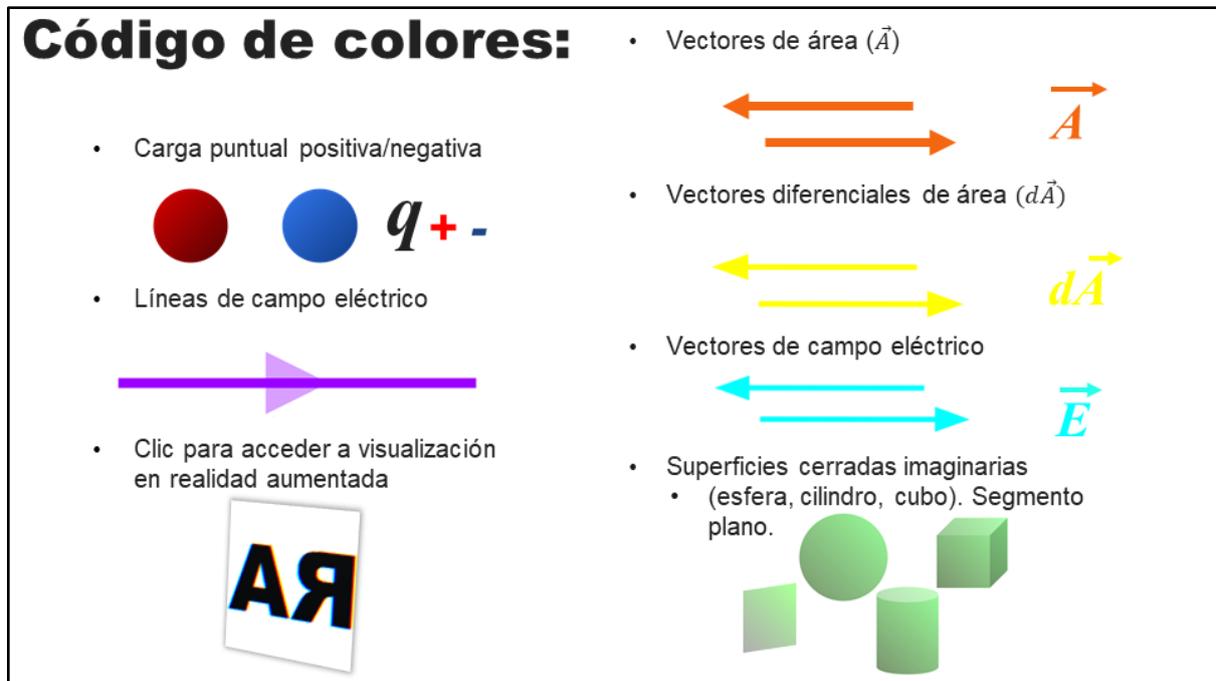


Figura XII. Código de colores.

- Esferas rojas para representar cargas puntuales positivas y azules para cargas puntuales negativas.
- Líneas en color morado con puntas de flecha del mismo color, pero semitransparente, para representar líneas de campo eléctrico.
- Flechas anaranjadas para representar vectores de área
- Flechas amarillas para representar vectores diferenciales de área
- Flechas azules para representar vectores de campo eléctrico
- Superficies cerradas en color verde semitransparente para representar superficies cerradas imaginarias (esfera, cilindro y cubo) y un plano imaginario.

Comenzaremos por estudiar el concepto del flujo.

El flujo (Φ)

El flujo está presente en la ecuación de la ley de Gauss y es esencial para su comprensión. En ocasiones, al flujo se le relaciona con fluidos o sustancias que tienen cierta capacidad de “fluir”.

El flujo es una medida de una cantidad física que atraviesa a una superficie, real o imaginaria, en un tiempo determinado y se le representa con la letra griega fi (Φ). Es una propiedad de cualquier campo vectorial.

De manera intuitiva, a la medida del flujo a través de una superficie se le puede considerar como el número de líneas de campo que la atraviesan.

En la siguiente imagen (Figura XIII, una animación corta en el caso de las diapositivas), pueden observar un mapa que muestra la velocidad del viento en una región de México, con un vórtice muy grande cerca de la península de Baja California. Este ejemplo lo vamos a utilizar más adelante.

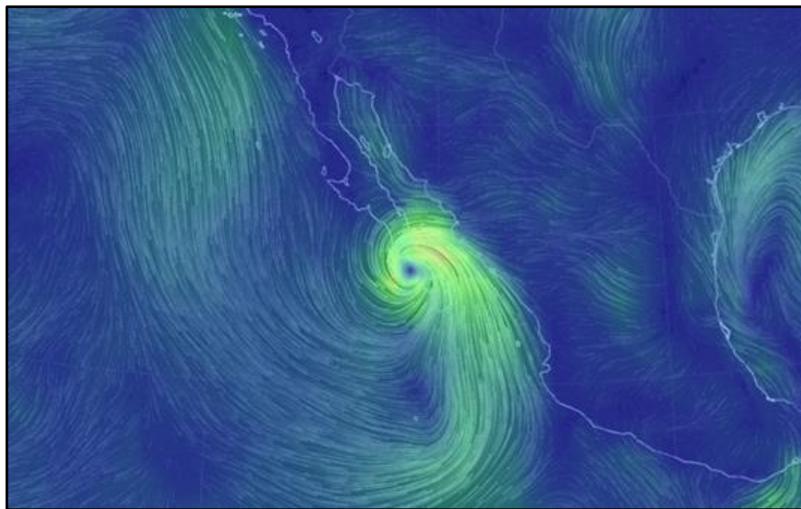


Figura XIII. Mapa de velocidad del viento sobre México. Imagen tomada de Earth Wind Map (s. f.).

Para entender cómo se realiza el cálculo del flujo, vamos a usar como un primer ejemplo el caso que aparece en la Figura XIV, muy distinta a la anterior, que representa el campo de velocidad de un líquido circulando a través de una sección de tubería (cilindro gris semitransparente). Con líneas de color azul aparece representado el flujo del líquido a velocidad constante y sin considerar los efectos de borde. En el extremo derecho del cilindro, aparece una superficie plana de color verde con su respectivo vector de área (\vec{A}), así como un vector de velocidad (\vec{v}). Aunque no se muestra en la imagen, deben recordar que cada punto dentro de la tubería tiene asociado un vector de velocidad, que indica la magnitud, dirección y sentido de la velocidad a la que circula el líquido.

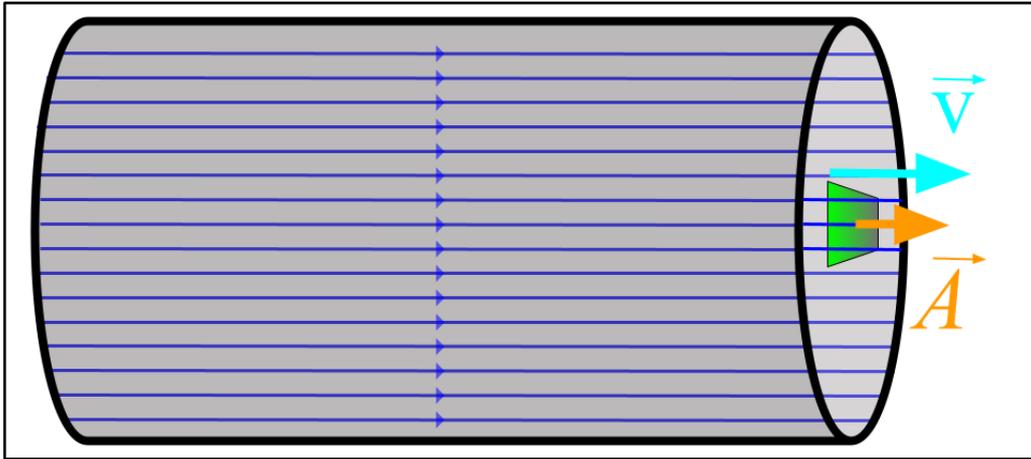


Figura XIV. Representación de una sección de tubería por la cual atraviesa un líquido a velocidad constante, se muestran una superficie imaginaria, su vector de área y un vector de velocidad del líquido.

Ahora, les voy a mostrar una visualización en RA (liga a la visualización: <https://flujo-tubo.glitch.me>) para tratar de entender mejor esta situación. Esta visualización y cada una de las que verán durante la clase, funcionan ingresando a enlaces correspondientes a páginas de internet. Luego de entrar a la página, la misma me solicitará permiso para habilitar la cámara de mi dispositivo, a continuación, tengo que poner un marcador impreso frente a la cámara, una vez que el dispositivo lo reconoce, se muestra la visualización a través de la pantalla de mi dispositivo y ustedes también pueden verlo a través de la pantalla/el proyector. Este marcador, puedo colocarlo en distintas posiciones, acercarlo, alejarlo o girarlo, con tal de ver distintas partes o detalles de cada visualización. Finalmente, les recuerdo que el código de colores que observamos al principio, también aplica para los elementos representados en RA.

El vector de área (\vec{A}) que pueden ver al extremo de la tubería, por definición es ortogonal a la superficie que representa, y es resultado del producto vectorial entre los vectores \vec{B} y \vec{C} , que delimitan los lados de la misma superficie, tal y como pueden observar en la imagen y en la visualización.

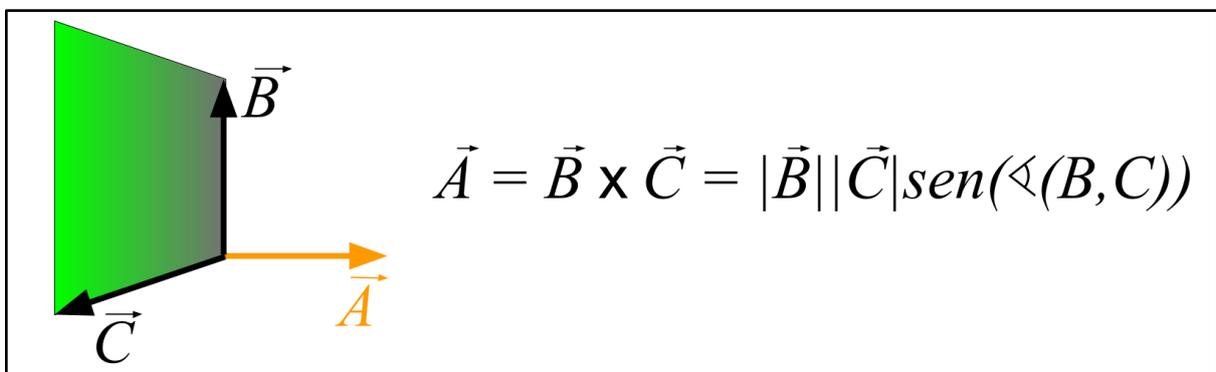


Figura XV. Representación y definición del vector de Área (\vec{A}).

Como mencioné en la diapositiva anterior, intuitivamente, la cantidad de flujo a través del plano verde corresponde con el número de líneas que lo atraviesan. Sin embargo, la definición del flujo es el producto escalar entre un vector, el de velocidad del agua, en este ejemplo, y el vector de área del plano, como pueden apreciar en la siguiente ecuación:

$$\Phi = \vec{v} \cdot \vec{A},$$

Y las unidades de medida para el flujo en este ejemplo son los metros cúbicos sobre segundo, es decir, unidades de velocidad por unidades de superficie.

$$[\Phi] = \frac{m}{s}(m^2) = \frac{m^3}{s}.$$

En casos como el ejemplo del mapa de velocidades del viento (¿lo recuerdan?), la dirección del vector velocidad cambia de un punto a otro y el cálculo del flujo podría parecer más complicado que en el caso de la tubería que acabamos de ver, pero, para su sorpresa, estimar el flujo se basa en el mismo método: calcular la cantidad de fluido que pasa a través de una superficie por unidad de tiempo.

Comencemos por volver a la pregunta; ¿cómo se calcula el flujo en ese caso? comencemos por elegir puntos específicos, consideremos, por ejemplo, los tres que se encuentran marcados en la Figura XVI, *i* (con rojo), *j* (rosado) y *k* (en verde).

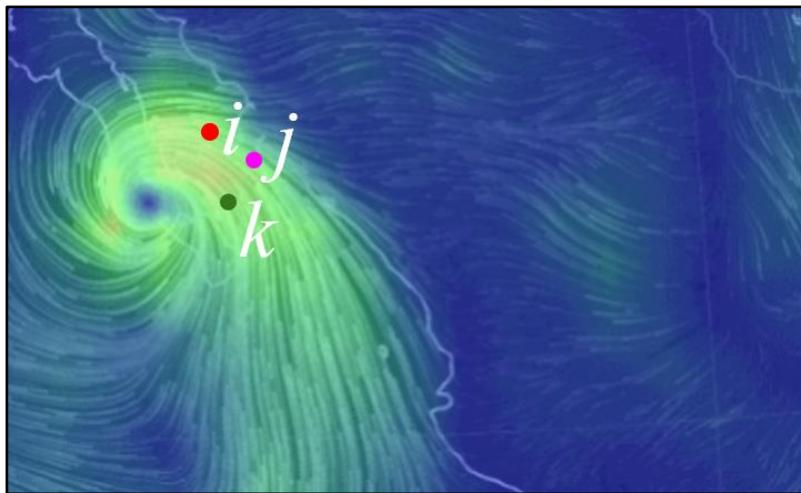


Figura XVI. Puntos sobre el mapa, para ser usados en el cálculo del flujo.

A continuación, puesto que la velocidad y dirección del viento cambian de un punto a otro, debemos considerar un campo de velocidades, como se muestra en la Figura XVII.

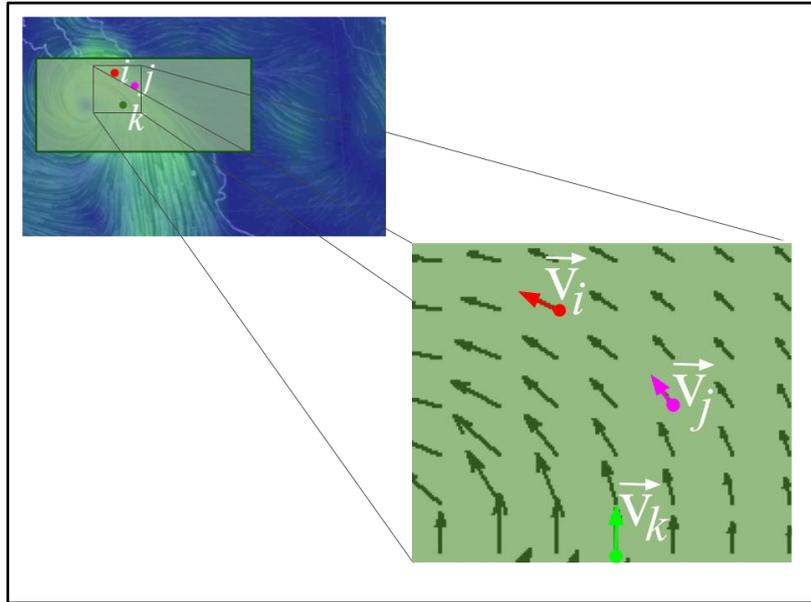


Figura XVII. Una sección de mapa, representada como un campo de velocidades.

Luego, hay que determinar un área para la cual nos interesa calcular el flujo. En este caso, elegiremos también un segmento plano, como el que aparece con verde semitransparente en la Figura XVIII. A este plano hay que dividirlo en unidades infinitesimales de área, a las cuales llamaremos elementos diferenciales de área ($d\vec{A}$), que a su vez tienen asociado su propio vector diferencial de área, como también pueden observar en la imagen.

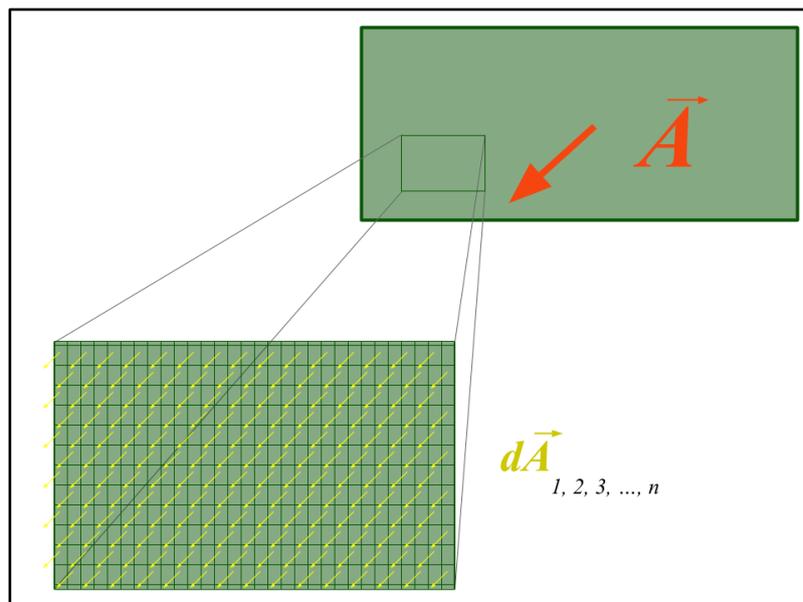


Figura XVIII. Una misma superficie representada con un vector de área y pequeña sección de la misma, representada con elementos diferenciales de área.

Esta división del plano debe ser de tal forma que la velocidad sea uniforme sobre cada $d\vec{A}$. Como pueden observar en la siguiente imagen.

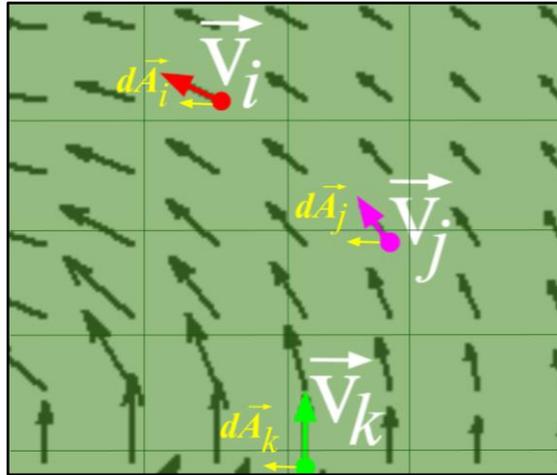


Figura XIX. Representación de vectores de velocidad uniformes sobre diferentes secciones diferenciales de área.

Para calcular el flujo total a través de la superficie grande (A), debemos calcular el flujo a través de las superficies pequeñas (dA), y luego sumar todos los resultados, como aparece en la siguiente expresión:

$$\Phi_{Tot.} = \vec{v}_i \cdot d\vec{A}_i + \vec{v}_j \cdot d\vec{A}_j + \vec{v}_k \cdot d\vec{A}_k \dots + \vec{v}_n \cdot d\vec{A}_n,$$

en el límite infinitesimal de las dimensiones de las superficies pequeñas, esta suma se convierte en una integral del producto escalar entre un vector de velocidad (\vec{v}) y un vector diferencial de área ($d\vec{A}$), como lo pueden observar a continuación:

$$\Phi = \int \vec{v} \cdot d\vec{A}.$$

Esta es la expresión general para calcular el flujo de un campo de velocidades a través de una superficie.

Llegados a este punto de la clase, quisiera aclarar lo siguiente; la superficie imaginaria que elijamos no debe ser siempre un plano con forma cuadrada o rectangular.

Hasta ahora ya hemos visto dos ejemplos en los cuales se puede calcular el flujo, uno sencillo, como el caso de la tubería, y uno aparentemente más complejo, como el caso del mapa de velocidades del viento, que, por cierto, nos permitió generalizar a los casos donde el flujo cambia de un punto a otro.

Ahora apliquemos estas ideas a un ejemplo relacionado con un campo eléctrico, pues al final de cuentas, estamos en Electricidad y Magnetismo.

El campo eléctrico (\vec{E})

Empecemos por recordar que un campo eléctrico es un ejemplo de un campo vectorial, pues cada punto del espacio tiene asociado un vector que indica su magnitud, dirección y sentido.

También, recordemos que a un campo eléctrico lo podemos representar gráficamente usando vectores o líneas de fuerza, como pueden ver en la Figura XX. Si usamos vectores, estos tienen mayor longitud cuando el campo es más intenso y se van haciendo más cortos conforme el campo se vuelve más débil. Por otro lado, si usamos líneas de fuerza, el número de líneas por

unidad de área de sección transversal es proporcional a la magnitud del campo, de tal manera que la distancia entre ellas es menor cuando el campo es intenso y mayor cuando el campo es más débil.

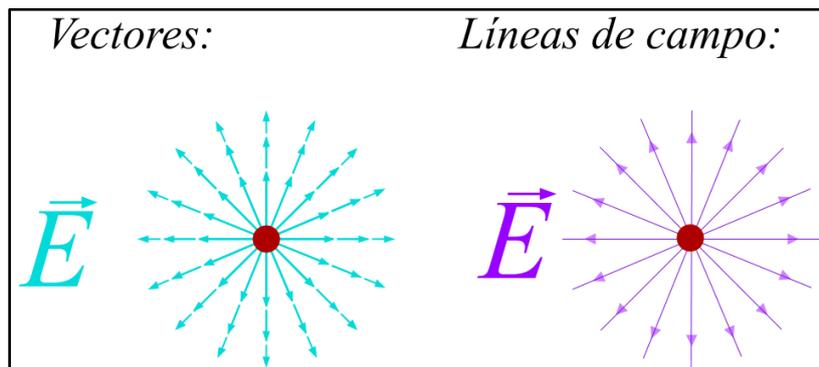


Figura XX. Representación del campo eléctrico alrededor de una carga puntual, a través de vectores (izquierda) y líneas de fuerza (derecha).

A continuación, les mostraré una visualización en RA (<https://carga-p.glitch.me>) de las líneas de campo eléctrico alrededor de una carga puntual positiva.

El flujo eléctrico (Φ_E)

El flujo eléctrico se representa con la letra griega fi (Φ), con un subíndice "E", y también se le puede considerar intuitivamente como el número de líneas de campo eléctrico que atraviesan a una superficie imaginaria.

Para ejemplificar lo que acabo de mencionar, observen la Figura XXI. En ella, aparecen tres planos dentro de un campo eléctrico uniforme representado con líneas paralelas que van de izquierda a derecha. El plano verde es ortogonal a la dirección del campo, el plano gris de en medio está inclinado respecto al campo y el plano al extremo derecho de la imagen es paralelo al campo. Para los tres también pueden ver representada la dirección de sus vectores de área. En particular, observen que el tercero de ellos se encuentra apuntando ortogonalmente a la superficie de la imagen.

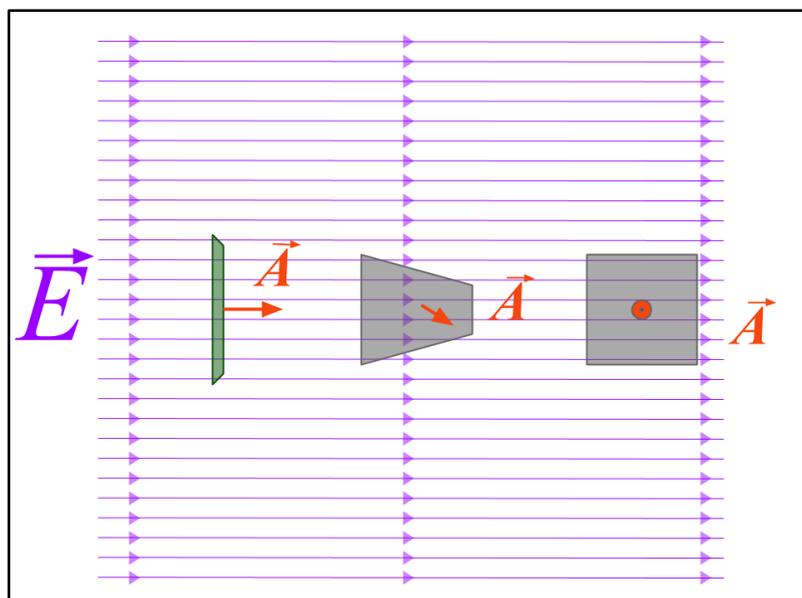


Figura XXI. Tres superficies planas dentro de un campo eléctrico uniforme. Para cada superficie, aparece representado su vector de área.

La siguiente visualización en RA, nos permite ver la representación de la imagen anterior, pero desde diferentes perspectivas, para que puedan verla y tratar de entenderla mejor (<https://campo-vu.glitch.me>).

Observando la visualización, podrán darse cuenta que para la superficie verde el número de líneas que la atraviesan es el máximo posible, puesto que es ortogonal a la dirección del campo. Para la superficie gris de en medio, el número de líneas que la atraviesan disminuye respecto al caso anterior, y finalmente, la superficie gris en el extremo derecho se encuentra paralela a las líneas de campo, por lo tanto, no hay líneas que la atraviesen.

Para quienes aún no estén convencidos de que el número de líneas que atraviesan a la superficie depende de su orientación, ahora pueden observar una visualización similar a la anterior (<https://campo-uplano.glitch.me>), pero con un solo plano animado que va cambiando su orientación y, conforme lo hace, es atravesado por un mayor o menor número de líneas, lo cual, como decíamos, nos da una medida intuitiva del flujo eléctrico a través del plano.

Ahora bien, el cálculo del flujo eléctrico a través de cualquiera de los planos, se realiza mediante la siguiente expresión:

$$\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A},$$

ésta, representa la integral del producto escalar entre un vector de campo eléctrico y un vector diferencial de área del plano en cuestión. Las unidades de medida para el flujo en este ejemplo son los Newtons por metro cuadrado sobre Coulombs, es decir, unidades de campo eléctrico por unidades de superficie;

$$[\Phi_E] = \frac{Nm^2}{C}.$$

Si pensamos calcular el flujo para este ejemplo, una pregunta que quisiera hacerles sería, la magnitud del campo eléctrico ¿siempre es la misma en cualquier punto de la superficie? (esperamos unos instantes para dejar que los estudiantes participen), la respuesta es sí, puesto que el campo eléctrico es uniforme. Por lo tanto, después de realizar el producto escalar podemos factorizar a E fuera de la integral. Por otro lado, el coseno del ángulo entre ambos vectores, también puede salir de la integral, puesto que no cambia de un punto a otro de la superficie, como pueden observar a continuación.

$$\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int |\vec{E}| |d\vec{A}| \cos\theta = E \cos\theta \int dA = EA \cos\theta.$$

Dicho lo anterior, ahora vamos a ampliar el concepto del flujo eléctrico a través de una superficie, al concepto de flujo eléctrico a través de una superficie cerrada, es decir flujo neto.

Superficies cerradas

Comenzaré por mencionar qué debemos entender por superficie cerrada. Se trata de un conjunto de superficies abiertas que se encuentran unidas de alguna forma para lograr encerrar un volumen. Por convención, sus vectores de área, o diferenciales de área siempre apuntan hacia afuera de ella y durante nuestro estudio vamos a considerar tres principales superficies cerradas: un cubo, un cilindro y una esfera, como los que pueden ver en las Figura XXII.

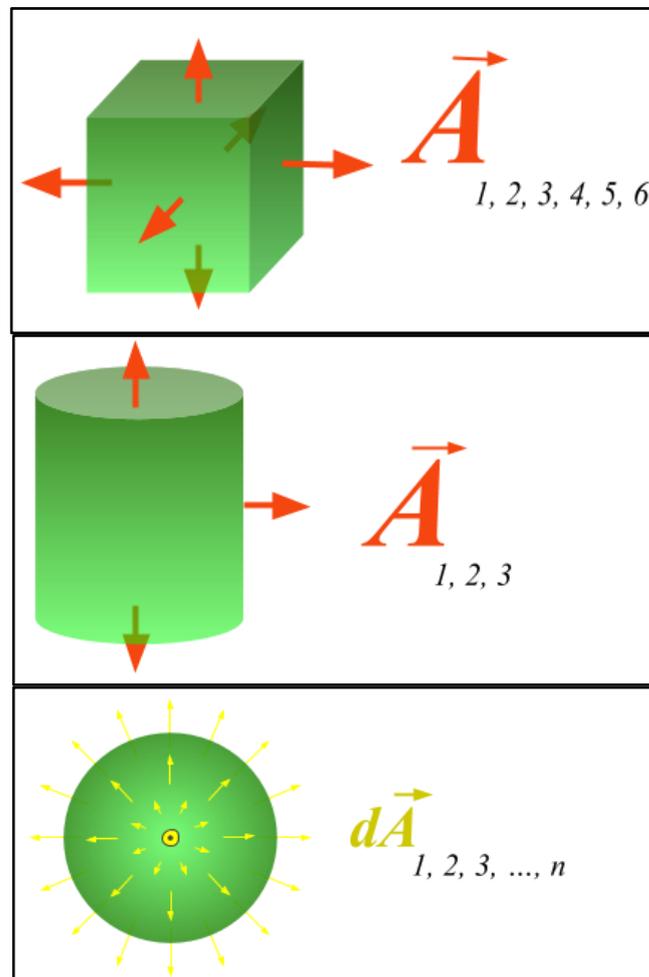


Figura XXII. Superficies cerradas, cubo, esfera y cilindro con sus respectivos vectores de área (\vec{A}) y diferenciales de área ($d\vec{A}$).

A un cubo, podemos considerarlo conformado por 6 planos cuadrados que se unen, como las 6 caras de un dado.



Figura XXIII. Fotografía de un dado con seis caras, similar a un cubo.

El cilindro, podemos considerarlo conformado por tres superficies abiertas, dos discos y una pared cilíndrica, la cual se vería como un rectángulo si la imaginamos extendida. La esfera, podemos pensar que se conforma por una infinidad de superficies planas, similares a los espejos pequeños en una bola disco.

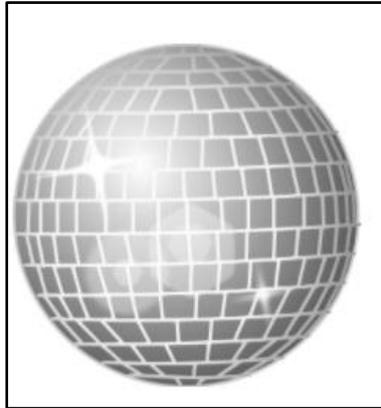


Figura XXIV. Imagen de una bola disco constituida por pequeños espejos planos.

A continuación, les mostraré visualizaciones en realidad aumentada para ejemplificar lo que acabo de mencionar respecto a las superficies cerradas (<https://vectores-a-da.glitch.me>).

Todas las superficies que acaban de ver son semitransparentes por dos razones: para hacer alusión a que son imaginarias y para poder observar más adelante las líneas de campo eléctrico que las atraviesan.

Antes de continuar, quisiera mencionar que, al aplicar la ley de Gauss, siempre debemos emplear superficies cerradas imaginarias y les llamaremos superficies gaussianas.

Flujo neto

Retomando el tema del flujo neto, este es resultado de la suma del flujo a través de cada una de las superficies abiertas que conforman a una superficie cerrada.

Para entenderlo mejor, vamos a utilizar el ejemplo de un cilindro dentro del mismo campo uniforme que veíamos hace unos instantes. En la Figura XXV, pueden ver una imagen que representa esta situación. El cilindro tiene a su alrededor tres vectores de área, uno para cada disco, y uno para la pared cilíndrica.

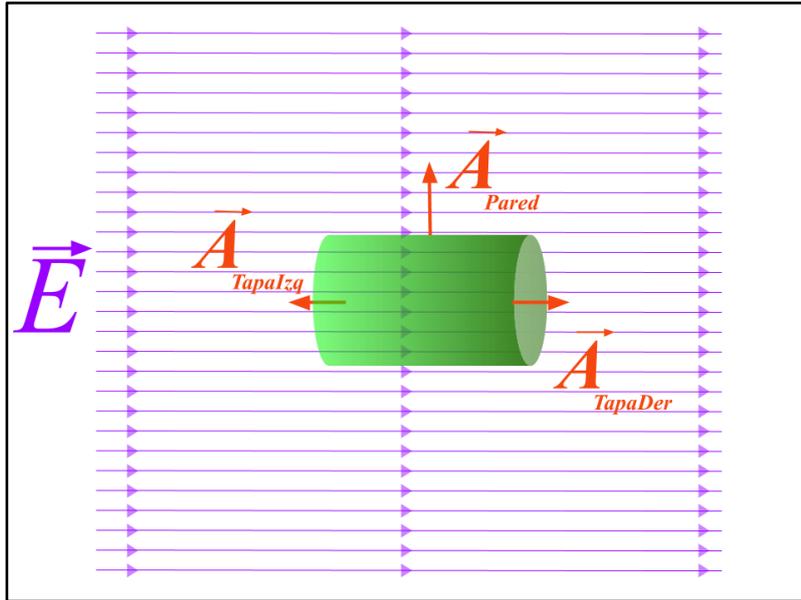


Figura XXV. Un cilindro con sus vectores de área, dentro de un campo eléctrico uniforme.

A continuación, con ayuda de la siguiente visualización (<https://campou-va.glitch.me>) podemos observar una representación en RA de la Figura XXV.

Para calcular el flujo neto a través del cilindro, tenemos que utilizar la expresión que aparece a continuación.

$$\Phi_{E \text{ Cilindro}} = \Phi_{E \text{ Tapa Der.}} + \Phi_{E \text{ Pared}} + \Phi_{E \text{ Tapa Izq.}}$$

Ésta representa la suma de los flujos a través de la tapa derecha, a través de la pared cilíndrica y a través de la tapa izquierda.

La magnitud del campo es la misma en cualquier punto sobre ambas tapas del cilindro. Sin embargo, hay líneas de campo que entran al cilindro por una tapa y salen por la otra, así, el flujo a través de las tapas da el mismo valor como resultado, pero con signos opuestos.

Y puesto que no hay ninguna línea de campo atravesando por la pared cilíndrica, el flujo eléctrico a través de ella es cero.

Al realizar la suma para obtener el flujo neto, obtenemos como resultado un valor igual a cero:

$$\Phi_{E \text{ Cilindro}} = \cancel{\Phi_{E \text{ Tapa Der.}}} + \cancel{\Phi_{E \text{ Pared}}} + \cancel{\Phi_{E \text{ Tapa Izq.}}}$$

+ 0 -

Ahora, si, por ejemplo, rotara el cilindro como se muestra en la Figura XXVI, ¿el resultado sería el mismo?, es decir, ¿el flujo neto seguiría siendo igual a cero? (esperamos unos instantes para permitir que los estudiantes respondan)

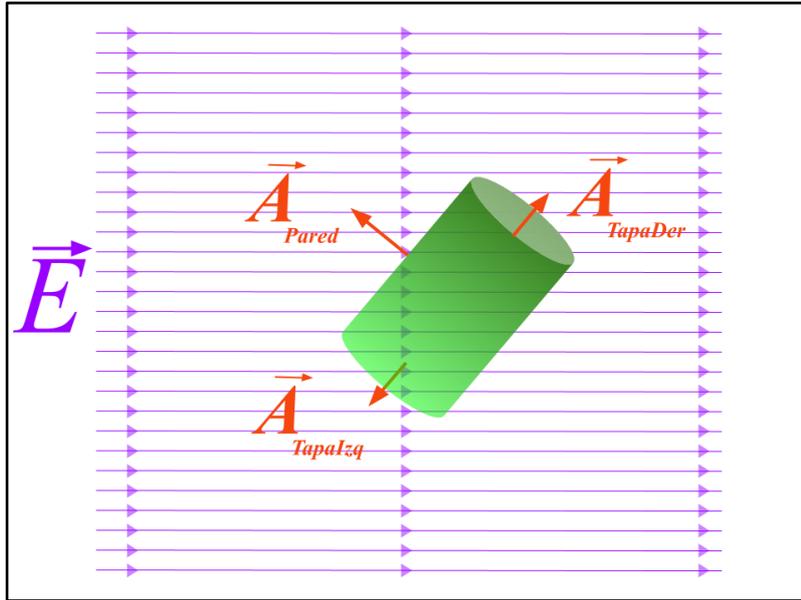


Figura XXVI. Un cilindro rotado con sus vectores de área, dentro de un campo eléctrico uniforme.

La respuesta es sí. Entonces, para superficies cerradas, como un cubo y una esfera, como en la Figura XXVII, ¿cambiaría el resultado que acabamos de obtener? (esperamos unos instantes para permitir que los estudiantes respondan).

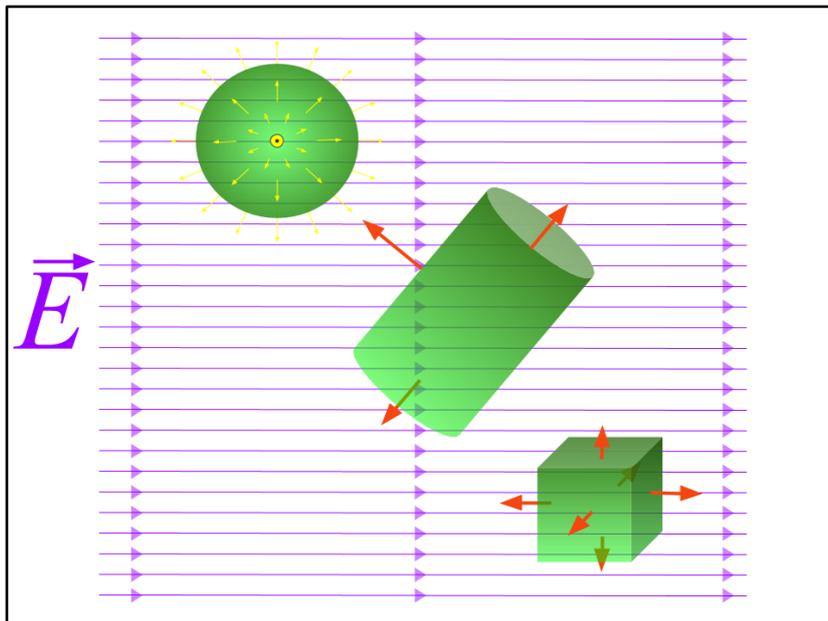


Figura XXVII. Diferentes superficies cerradas dentro de un campo eléctrico uniforme, para el cilindro y el cubo se muestran vectores de área, para la esfera, se muestran vectores diferenciales de área.

La respuesta es no, no cambiaría, seguiría siendo cero, puesto que todas las líneas de campo que entran a cada superficie cerrada, vuelven a salir de ella. Para confirmarlo, observen la siguiente visualización (<https://campo-u-intss.glitch.me>).

Estas conclusiones nos ayudan a poner en claro lo siguiente:

- Las líneas de campo que entran a cualquier superficie cerrada constituyen flujo negativo, puesto que el ángulo entre el campo eléctrico y el vector de área es mayor a 90° .
- Las líneas de campo que salen de cualquier superficie cerrada constituyen flujo positivo, puesto que el ángulo entre el campo eléctrico y el vector de área es menor a 90° .
- Si existe la misma cantidad de líneas que entran y salen de una superficie cerrada, el flujo neto a través de ella será igual a cero.

Ahora permítanme hacerles la siguiente pregunta, ¿Cómo lograríamos que el flujo neto sea distinto de cero?

Nota. Con base en nuestra experiencia, una posible respuesta de los estudiantes “Debe de haber una cantidad distinta de líneas que entran y líneas que salen”, en ese caso se procede con las siguientes preguntas. ¿Cómo se vería si a través de una superficie cerrada, no existiera el mismo número de líneas de campo que entran o salen? ¿podrían dibujarlo y mostrarlo para que todos lo podamos ver?, pueden usar el pizarrón. ¿Cómo se podría lograr esa situación?

La respuesta tiene que ver con un par de conceptos más que estudiaremos a continuación: las fuentes y los sumideros.

Fuentes y sumideros

Una fuente es de donde surgen las líneas de campo, un sumidero, por el contrario, es donde terminan las líneas de campo. En el caso del campo eléctrico, las fuentes son las cargas positivas y los sumideros son las cargas negativas. En la Figura XXVIII, podemos ver ambos casos representados en el dipolo eléctrico con sus líneas de campo, que surgen de la carga positiva y terminan en la carga negativa.

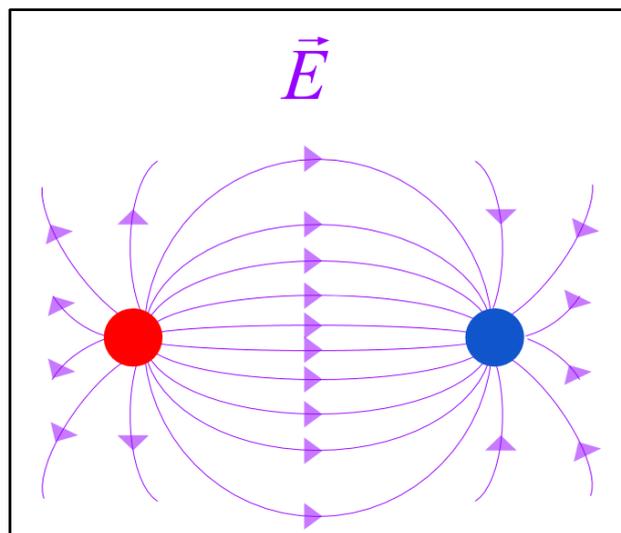


Figura XXVIII. Representación de un dipolo eléctrico y las líneas de campo a su alrededor.

También, podemos observar al dipolo en la siguiente visualización (<https://dipolo-e.glitch.me>).

En cambio, en la Figura XXIX pueden observar por separado las cargas puntuales que conforman al dipolo que acabamos de observar y, así, corroborar que las cargas positivas son fuentes y las negativas son sumideros.

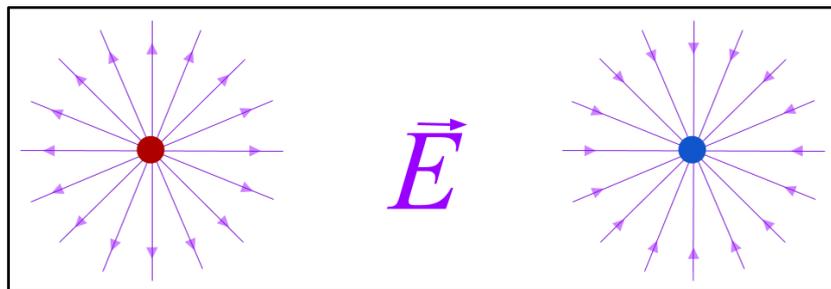


Figura XXIX. Representación de las líneas de fuerza del campo eléctrico alrededor de una carga puntual positiva y una carga puntual negativa.

Y, al igual que el dipolo, a estas cargas puntuales podemos verlas en RA (*carga positiva:* <https://carga-p.glitch.me>, *carga negativa:* <https://carga-n.glitch.me>)

Cuando una superficie cerrada encierra a una fuente o a un sumidero, el flujo neto es distinto de cero, negativo si se trata de un sumidero, o positivo si encierra a una fuente. No obstante esto, cabe aclarar que una misma superficie puede encerrar varias fuentes y/o sumideros a la vez, en cuyo caso se hablará de una carga neta encerrada. Por ejemplo, en la Figura XXX, a través de la esfera existe un flujo neto positivo, a través del cubo hay un flujo neto negativo, pero a través del cilindro grande el flujo neto es cero nuevamente, porque la carga neta que encierra es también igual a cero y la misma cantidad de líneas de campo que salen del cilindro vuelven a entrar en él.

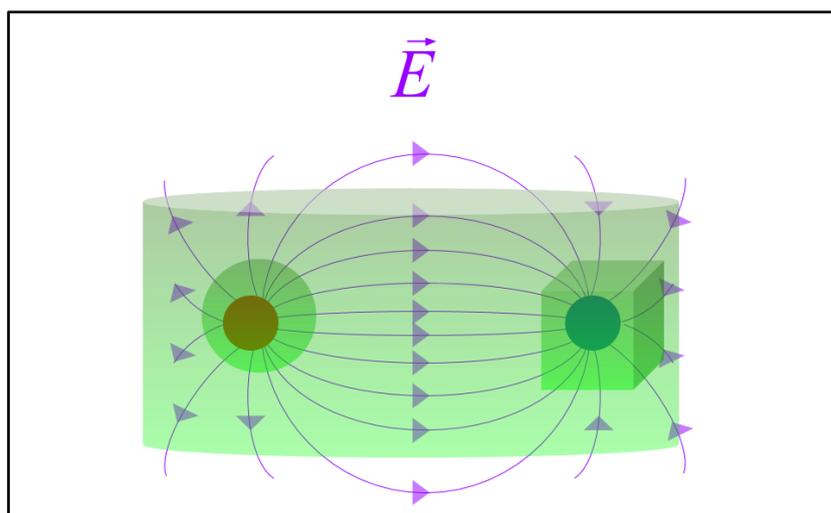


Figura XXX. Un dipolo con diferentes superficies que lo encierran por completo (cilindro) o sólo parcialmente (esfera y cubo).

En la siguiente visualización (<https://dipolo-enc.glitch.me>) a diferencia de la imagen anterior, existe un prisma rectangular que tampoco encierra una carga neta, y por lo tanto también el flujo a través de él es igual a cero.

Para un ejemplo mucho más vivencial de una fuente, consideremos un foco, como el que estoy sosteniendo en mi mano en este momento (aquí se hace una pausa de las diapositivas

y se enciende. Antes le pedimos a los alumnos que lo vean a través de la pantalla donde han estado observando las visualizaciones), cuando lo enciendo, este foco es una fuente de flujo luminoso asociado a una cantidad escalar (la cantidad de fotones).



Figura XXXI. Fotografía del foco usado durante la clase.

Si piensan en usar una esfera, como la que se encuentra en la visualización (<https://esfera-sg.glitch.me>), para hacer que parezca que encierra al foco encendido, a través de ella saldrían mayor cantidad de líneas de flujo luminoso (el foco no es la única fuente de luz a mi alrededor), por lo tanto, existiría un flujo neto positivo.



Figura XXXII. Fotografía tomada durante una clase con RA, primero se usó un foco como un ejemplo cotidiano de una fuente de flujo luminoso, luego el foco fue usado junto con una visualización para ejemplificar cuando el flujo a través de una superficie cerrada es positivo o igual a cero. Esto pudo ser observado a través de la pantalla en gran formato que aparece en el lado superior derecho de la foto.

En cambio, si hago parecer que la esfera se encuentra a un costado del foco (sin que lo encierre), ¿cuál sería el flujo neto? El flujo a través de la esfera sería cero, porque ésta no encierra ninguna fuente o sumidero y la misma cantidad de luz que entra a ella, vuelve a salir, ya sea que provenga del foco o de cualquier otra fuente de luz cercana, como la luz del sol que entra por la ventana o alguna otra lámpara que se encuentre encendida en este espacio.

Consideremos ahora el caso de un río que se descongela y que tiene en medio un bloque de hielo que también se está derritiendo.

En este ejemplo, también existe una fuente que podríamos encerrar con una superficie cerrada imaginaria para que a través de ella exista un flujo positivo. Entonces, ¿cuál sería esa fuente? La respuesta es, el bloque de hielo, puesto que se derrite. Si lo imaginan encerrado con cualquier superficie cerrada, a través de ésta existirá flujo positivo debido al flujo que emerge del hielo conforme se derrite.

Por último, piensen en el caso de la Tierra y sus líneas de campo gravitatorio (Figura XXXIII), este es ejemplo de un sumidero.

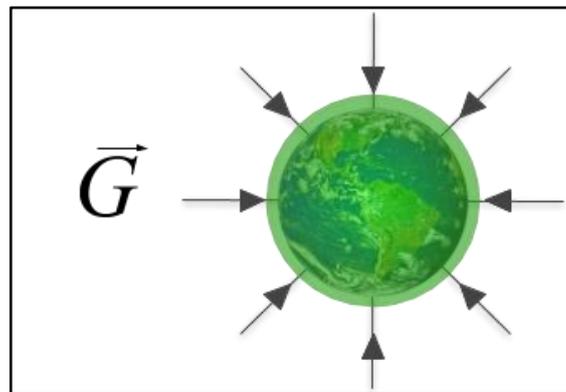


Figura XXXIII. Representación de la Tierra y algunas líneas de fuerza de su campo gravitatorio, como ejemplo de un flujo neto negativo.

Si imaginamos a la Tierra encerrada por una superficie cerrada, el flujo neto a través de ella también sería distinto de cero, sería negativo.

Integral de superficie cerrada

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A}.$$

La ecuación anterior, es la expresión que permite calcular el flujo neto a través de cualquier superficie cerrada. En esta ecuación, aparece una integral con un círculo sobre su símbolo, esto es una integral de superficie cerrada. Para resolverla, deben dividir a la superficie en elementos dA , y calcular el producto escalar entre el vector de campo eléctrico y cada vector $d\vec{A}$ sobre toda la superficie para, finalmente, sumar todos los resultados. Puesto que se trata de superficies infinitesimales, la suma se convierte en la integral de superficie cerrada.

Si el flujo neto es independiente de la superficie elegida, entonces, una pregunta que quisiera plantearles es ¿qué utilidad tendría poder elegir cualquier superficie gaussiana?

Por ejemplo, consideren a una carga puntual positiva encerrada por un cubo, aunque cambie al cubo por un cilindro o por una esfera, no cambiaría la magnitud del flujo neto ¿cierto?

Entonces, ¿qué utilidad tendría poder elegir cualquier superficie gaussiana?

Mientras piensan en su respuesta voy a mostrarles otra visualización que muestra una carga puntual positiva, siendo encerrada por un cubo y una esfera (<https://carga-p-enc.glitch.me>).

¿Ya pensaron en su respuesta? (se hace una pausa de unos cuantos segundos para dar oportunidad a que los estudiantes respondan y de ser necesario se retoman las ideas en sus respuestas para continuar con la siguiente explicación) La respuesta a mi pregunta se encuentra en una idea más o menos simple:

La simetría de la distribución de carga sugiere la forma ideal de la superficie cerrada.

Para entender mejor lo que quiere decir esto, hagamos el ejercicio de decidir qué superficie cerrada es la más adecuada para encerrar, primero a una carga puntual positiva y después a un segmento de una línea infinita de carga positiva. Con este ejercicio, trataremos de calcular el flujo neto en cada caso. Aunque antes ya habían observado a la carga puntual y sus líneas de campo, en la siguiente imagen pueden verla nuevamente en la Figura XXXIV, además del segmento de línea y sus líneas de campo.

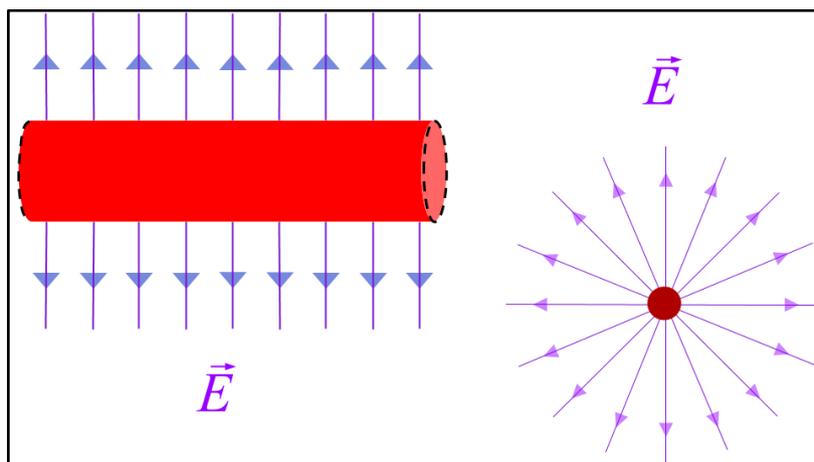


Figura XXXIV. Un segmento de una línea infinita de carga positiva y una carga puntual positiva con sus respectivas líneas de campo alrededor.

Comencemos con el caso de la carga puntual. Observen la Figura XXXV y consideren lo siguiente: si tuviera que elegir entre un cubo y una esfera, ¿cuál de ellos debería usar para encerrar a la carga y calcular el flujo neto?

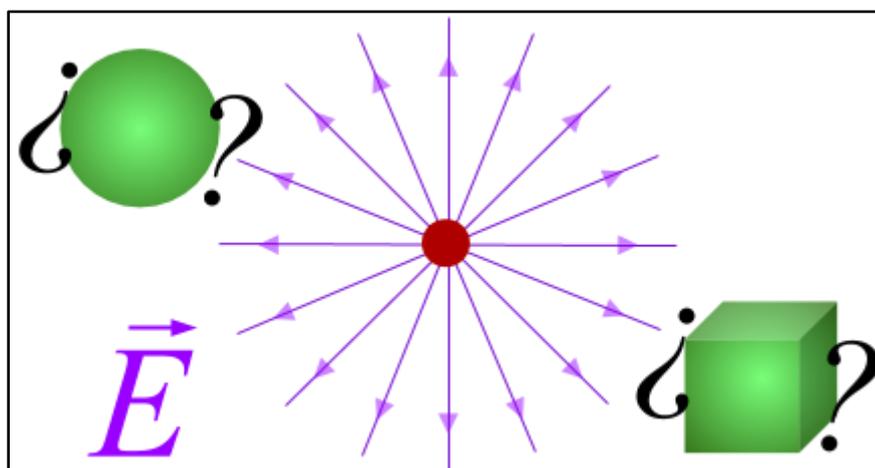


Figura XXXV. Una carga puntual positiva que puede ser encerrada por un cubo o una esfera, sólo una de las dos superficies es la adecuada para poder calcular el flujo neto.

Si elijo al cubo, como pueden observar en la Figura XXXVI, sobre su superficie la dirección de las líneas de campo y de los vectores diferenciales de área es distinta de un punto a otro, así como la distancia entre la carga y cada punto sobre el cubo, y por lo tanto, la intensidad del campo eléctrico también varía. Bajo estas condiciones, tendría que expresar a la integral de superficie cerrada, como la suma de las integrales del producto escalar para cada punto sobre el cubo, un cálculo con un número muy grande de operaciones.

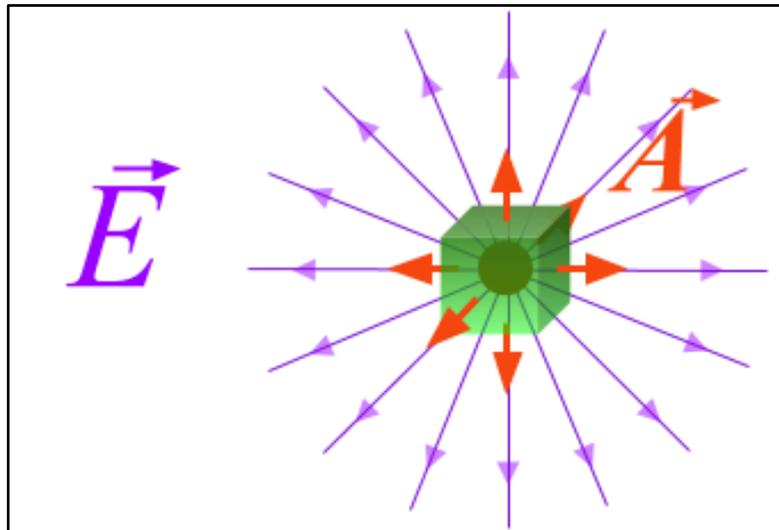


Figura XXXVI. Un cubo encerrando una carga puntual positiva. Sobre las distintas caras del cubo es diferente la dirección entre los vectores de área y de campo, ocurriría lo mismo en caso de considerar a los vectores diferenciales de área.

Con ayuda de la siguiente visualización (<https://levg-cpc.glitch.me>) pueden observar esta misma situación, pero resaltando únicamente dos puntos de color anaranjado sobre el cubo. En estos puntos se encuentran los vectores que intervienen en el producto escalar dentro de la integral y también pueden ver cómo cambia la dirección de estos vectores de un punto a otro.

Si en lugar del cubo usamos una esfera con la carga en su centro, a diferencia del cubo, en cualquier punto sobre la esfera la dirección de las líneas de campo y los vectores diferenciales de área es la misma, también lo es la distancia de la carga y la intensidad del campo eléctrico, como pueden ver en la Figura XXXVII.

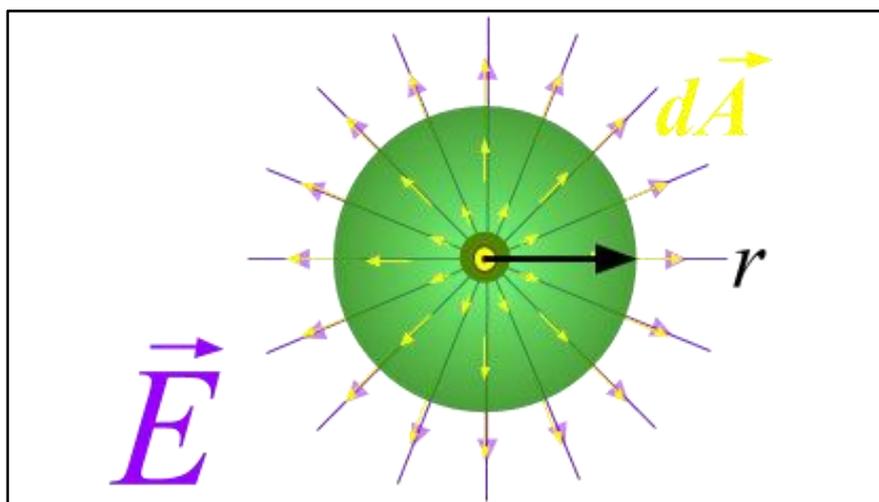


Figura XXXVII. Una esfera encerrando una carga puntual positiva en su centro, para conseguir que las líneas de campo y los vectores diferenciales de área tengan la misma dirección y que el campo eléctrico sea uniforme sobre toda la esfera.

En este caso, no es necesario representar la integral como la suma de varias integrales para diferentes puntos sobre la esfera, pues sobre toda ella, el producto escalar se resuelve de la misma forma. Además, puesto que todos los puntos de la esfera están a la misma distancia de la carga que el campo eléctrico es uniforme sobre toda la superficie, así, este puede salir de la integral.

Finalmente, queda integrar el diferencial de área, y sustituir el área correspondiente a la superficie de la esfera, como pueden observar a continuación.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \oint |\vec{E}| |d\vec{A}| \cos(0^\circ) = E \oint dA = EA = E(4\pi r^2).$$

En la siguiente visualización (<https://levy-cpe.glitch.me>), pueden observar el ejemplo que acabamos de analizar. Con la diferencia de que aparece sólo un vector diferencial de área sobre la esfera, pues como ya dijimos, este representa a cualquier otro sobre la esfera.

Ahora, consideremos el caso del segmento de línea de carga positiva (Figura XXXVIII), ¿qué superficie cerrada debería usar?, ¿una esfera?, ¿un cubo?, ¿un prisma rectangular? o ¿un cilindro?

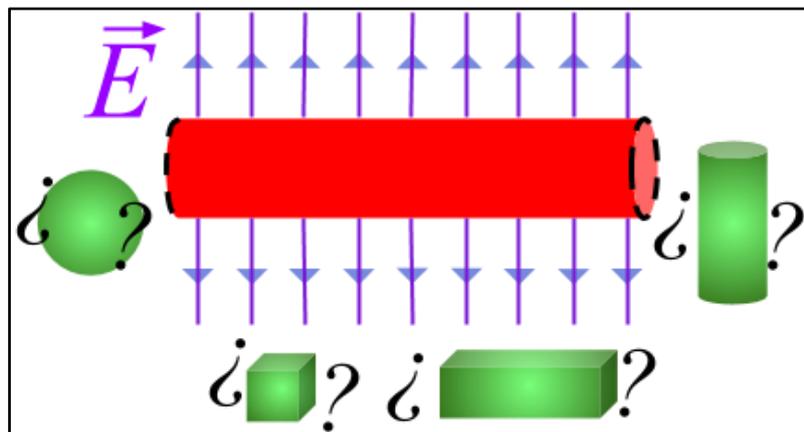


Figura XXXVIII. Un segmento de una línea infinita de carga positiva que puede ser encerrada por una esfera, un cubo, un prisma rectangular o un cilindro, sólo una de las superficies es la adecuada para poder calcular el flujo neto.

Si elijo cualquiera de las tres primeras opciones, sucederá una situación similar al caso del cubo encerrando a la carga puntual: las líneas de campo y los vectores diferenciales tendrán direcciones distintas sobre toda la superficie y la distancia desde la carga hasta cada punto de la misma no será igual, tampoco la intensidad del campo.

Por estas razones, la mejor alternativa es usar el cilindro, de tal forma que su eje coincida con el segmento de línea, como pueden ver en la Figura XXXIX.

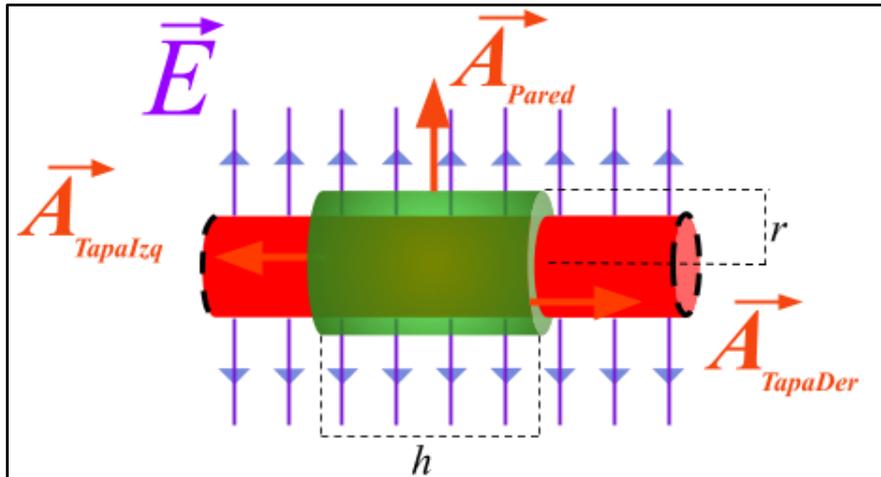


Figura XXXIX. Un segmento de una línea infinita de carga positiva encerrada por un cilindro en cuya pared el campo eléctrico es uniforme.

De esta manera, el flujo a través de las tapas será cero y a través de la pared cilíndrica el campo será uniforme, con esto lo podemos factorizar fuera de la integral. Finalmente, debemos integrar el diferencial y sustituir al área correspondiente a la superficie de la pared cilíndrica, como se muestra a continuación.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}_{Tapa\ Izq.} + \int \vec{E} \cdot d\vec{A}_{Pared} + \int \vec{E} \cdot d\vec{A}_{Tapa\ Der.} =$$

$$0 + \int |\vec{E}| |d\vec{A}| \cos(0^\circ) + 0 = E \int d\vec{A}_{Pared} = EA_{Pared} = E(2\pi rh).$$

Ahora, vamos a observar una visualización de la imagen que acabamos de ver, para tratar de entender mejor por qué elegimos al cilindro y no alguna otra figura. En esta visualización, de forma representativa, también pueden observar el efecto de borde de las líneas de campo en un extremo del segmento de la línea infinita (<https://levy-g.lglitch.me>).

La ley de Gauss

Ahora es momento de que conozcamos la ley de Gauss, su ecuación es la siguiente:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{1}{\epsilon_0} q$$

y en un enunciado, ésta dice lo siguiente:

“El flujo eléctrico neto a través de cualquier superficie cerrada hipotética es proporcional a la carga eléctrica neta encerrada por dicha superficie”

Como podrán darse cuenta, el lado izquierdo de la ecuación expresa el concepto que hemos venido estudiando: el flujo de campo eléctrico a través de una superficie cerrada, el cual, sólo será distinto de cero si la superficie encierra una carga neta (lado derecho). Épsilon cero es la constante de permitividad eléctrica del vacío y es una constante de proporcionalidad.

Esta ley, se emplea generalmente para calcular la magnitud del campo eléctrico generado por distribuciones de carga que tienen un alto grado de simetría, tales como las que estudiamos hace unos instantes (la carga puntual o la línea de carga).

Aplicación de la ley de Gauss

Intentemos comprender mejor estas ideas con ayuda de un ejemplo. Veamos cómo se aplica la ley de Gauss para hallar el campo eléctrico generado por la carga puntual positiva.

Como ya dijimos, para la carga puntual la superficie gaussiana debe ser una esfera y el resultado del flujo neto a través de ésta dio como resultado $E(4\pi r^2)$. A continuación, si igualamos este resultado con el lado derecho en la ley de Gauss, obtenemos lo siguiente:

$$E(4\pi r^2) = \frac{1}{\epsilon_0}q,$$

finalmente, para llegar a la expresión que buscamos, solo queda despejar al término que nos interesa, el campo eléctrico, quedando la ecuación anterior de la siguiente forma:

$$E = \frac{1}{\epsilon_0(4\pi r^2)}q.$$

Ahora quisiera hacerles una pregunta, para reforzar lo que hemos visto: ¿usar un cilindro en lugar de la esfera me hubiera permitido hallar la expresión que acabamos de encontrar para el campo eléctrico? (Esperamos unos instantes para que los estudiantes intenten responder) La respuesta es no, hubiera podido usar el cilindro para calcular el flujo (con mucha dificultad), pero definitivamente no me hubiera permitido aplicar la ley de Gauss.

Para finalizar, quisiera hacer notar que la ley de Gauss, es una ecuación más fundamental que la ley de Coulomb que ya estudiaron al principio del curso de Electricidad y Magnetismo. Si empleamos la expresión del campo eléctrico debido a una carga (a) y también la expresión que define al campo eléctrico como la fuerza eléctrica por unidad de carga de prueba (b), podemos llegar a la ley de Coulomb (c):

$$|E| = \frac{1}{4\pi r^2 \epsilon_0}q \quad (a)$$

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (b)$$

$$F = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2} \quad (c)$$

Finalmente, cabe recordar que q_0 siempre representa a una carga de prueba.

Conclusiones y perspectivas

Conclusiones

Presentamos un estudio que realizamos acerca del proceso de enseñanza aprendizaje de algunos conceptos de electromagnetismo, en particular de la ley de Gauss. A través de diferentes métodos, intentamos definir las dificultades que impiden un adecuado proceso de apropiación del conocimiento en este campo y, con base en éstas, construimos una de presentación del tema en clase con apoyo de TICs, procurando amoldarlas al enfoque y los principios propuestos por las TACs. Escogimos, en particular, la realidad aumentada, pues sentimos que es una herramienta idónea para el estudio de fenómenos físicos, al ofrecer la posibilidad de combinar objetos reales con la representación de conceptos abstractos.

El estudio fue principalmente enriquecido con las iniciativas de los estudiantes participantes, que se interesaron en colaborar y aportar desde sus respectivas áreas de conocimiento (ICO y Pedagogía) en conjunto con la profesora Gabriella Piccinelli Bocchi, responsable del proyecto, que imparte EyM en la FES Aragón. Durante el desarrollo de la propuesta, procuramos evitar que las visualizaciones se limitaran a la mera “transcripción” de un diagrama o dibujo en un libro a la RA, pues la experiencia nos permitió advertir que eso habría traído consigo un resultado carente de precisión científica e inconsistencias respecto al código de colores que decidimos establecer. Por esto, para asegurar un resultado científicamente correcto y de acuerdo con nuestras convenciones para uso de colores, primero nos aseguramos de comprender la teoría detrás de cada visualización, luego ponderamos su oportuna incorporación a la propuesta, la revisamos cuidadosamente en equipo y la pusimos a prueba durante las exposiciones frente a quienes cursaban EyM. Además, esto nos permitió omitir algunas visualizaciones y reafirmar la importancia de otras.

Pudimos conocer que los estudiantes perciben una deficiente y poco innovadora incorporación de las TICs en los métodos de enseñanza que emplean sus profesores, lo cual, a su vez, les ocasiona desinterés, falta de motivación y falta de entusiasmo por aprender. En contraparte, a través de la implementación de nuestra propuesta, pudimos percibir que, en general, los estudiantes demuestran disposición, ánimos y atención cuando se les presenta una TIC incorporada al estudio de temas, como la ley de Gauss, cuyo estudio y aprendizaje les parece difícil. También, podemos afirmar que el uso de RA les ha parecido visualmente atractivo y novedoso, esto, pese a que la RA no es una tecnología nueva. Además, podemos confirmar que los discentes percibieron que la RA propicia la transmisión inteligible del conocimiento, la interacción durante la clase y la sensación de que son parte de una formación más avanzada o mejor planeada.

En cuanto al impacto que tuvo la RA sobre el entendimiento en los estudiantes acerca de los tres conceptos implicados en la ley de Gauss, cabe mencionar que el uso de la tecnología bajo nuestra propuesta:

- Aportó elementos para que pudieran construir una adecuada representación visual y mental de la configuración del campo eléctrico de las distribuciones de carga con las que decidimos trabajar. No obstante esto, aún podría ser complicado para algunos explicar cómo cambia dicha configuración para distribuciones distintas. También sigue existiendo una deficiente asimilación acerca de la información que proporcionan y la utilidad que tienen las dos representaciones del campo con las que trabajamos (líneas de fuerza y vectores).
- Contribuyó a mejorar la concepción del flujo del campo eléctrico. Lograron comprenderlo y aplicarlo esquemáticamente y a nivel operacional, pero sin llegar a complementar sus primeras conjeturas acerca del flujo con aquellas aseveraciones científicas que estudiaron durante la clase, es decir, que el flujo es una propiedad de cualquier campo vectorial, sin implicar forzosamente un movimiento. En cuanto al flujo neto, su entendimiento también mejoró, en buena medida gracias a la idea intuitiva que planteamos de que es igual al número de líneas de fuerza que entran a una superficie cerrada menos el número de líneas que salen de la misma, sin embargo, aún dudan sobre cómo elegir una que les permita obtener un campo uniforme sobre toda la superficie, o parte de ella, para estimar el campo al aplicar la ley de Gauss.
- Fomentó la comprensión de que una superficie cerrada puede ser considerada como un conjunto de superficies abiertas unidas entre sí para contener un volumen, así como la concepción mental de éstas a partir de sus representaciones a través de figuras planas.
- Ayudó a visualizar y entender cómo debe ser la dirección de los vectores de área o diferenciales de área para las superficies cerradas con que trabajamos.
- Contribuyó a la interpretación correcta de las integrales sobre superficies cerradas, aunque sigue habiendo confusión entre integrales de superficie y de trayectoria cerradas. Consideramos que la confusión surge al representar ambos casos con una circunferencia sobre el símbolo de la integral.
- Permitió crear cierta noción del significado de la ley de Gauss y la relación que guarda con el campo eléctrico, el flujo de éste y las superficies cerradas hipotéticas. Sin embargo, los estudiantes aún no logran explicar de forma sencilla cómo se aplica y para qué, en ocasiones dan respuestas que carecen de precisión científica, debido a que combinan el significado de estos conceptos.

A lo largo del trabajo que desarrollamos con estudiantes y profesores, pudimos darnos cuenta de que la inclusión de RA, o de alguna otra TIC dentro del PEA, puede fomentar, al igual que los métodos tradicionales de enseñanza, que los discentes sólo sean receptores de información y los docentes la transmitan sin aprovechar las bondades específicas de cada tecnología. Consideramos que, independientemente de la TIC empleada en el PEA, debe existir un adecuado acompañamiento e interacción entre profesor y estudiante.

El potencial impacto de la RA sobre el análisis y entendimiento de los alumnos que la utilicen para estudiar EyM dependerá de una adecuada didáctica y tratamiento teórico, de tal forma que las visualizaciones representen un apoyo al PEA y no la parte central de éste. Los alumnos seguirán siendo receptores de la información si no logramos que participen en la construcción conjunta del conocimiento, especialmente cuando pretenden usar las TICs para conseguirlo.

Finalmente, cabe mencionar que la implementación de RA en EyM, o en cualquier otra asignatura, supone un buen dominio tecnológico de la herramienta que se utiliza y teórico sobre aquello que se busca representar a través de materiales como las visualizaciones que elaboramos.

Perspectivas

Idealmente, los objetos virtuales deberían interactuar con el usuario y con los objetos reales de una manera natural. En este sentido, entendemos que se pueden mejorar las visualizaciones que elaboramos con ayuda de animaciones y movimiento, así como a través del reconocimiento de objetos. Nos interesa, por un lado, cambiar el uso del marcador impreso por el reconocimiento de objetos, por otro, explorar las posibilidades que ofrece el movimiento para construir la ley de Gauss frente a los estudiantes y lograr que las visualizaciones sean aún más atractivas.

También, hasta ahora, las figuras que aparecen en las visualizaciones están construidas de manera meramente representativa, es decir, no están basadas en ecuaciones. La parametrización de las ecuaciones que modelan a los fenómenos representados permitiría mostrar un modelo más apegado a la realidad y hacer el método más interactivo, al permitir modificar las cantidades involucradas en el proceso (cargas, distancias, formas) durante la ejecución de las visualizaciones.

Consideramos que nuestras visualizaciones pueden usarse en otros cursos de EyM que se imparten en otras ingenierías al interior de la FES Aragón, y en asignaturas de Física a nivel medio superior, como aquella en la que pudimos participar cuando acudimos a la ENP 1.

Con el trabajo realizado, nos hemos convencido de que la RA tiene el potencial de convertirse en una tecnología del aprendizaje y el conocimiento (TAC) de conceptos físicos.

Apéndice

Diapositivas para la clase

También disponibles a través del siguiente enlace o por medio del código QR:

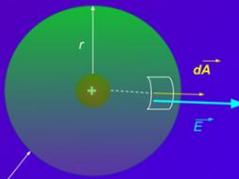
<https://drive.google.com/file/d/13FccPbZ2bhOL9r3mB7hgz7aDUNOBEQk7/view?usp=sharing>



La ley de Gauss

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{1}{\epsilon_0} q$$

“El flujo eléctrico neto a través de cualquier superficie cerrada hipotética es proporcional a la carga eléctrica neta encerrada por dicha superficie”



Superficie cerrada imaginaria

Carl Friedrich Gauss

Ideas y conceptos para la ley de Gauss



Por ver

- Campo eléctrico
- Líneas/vectores de campo eléctrico
- Flujo (Φ)
- Flujo eléctrico (Φ_E)
- Flujo neto
- Vectores de área (\vec{A})
- Vectores diferenciales de área ($d\vec{A}$)
- Superficie cerrada
- Integral de superficie cerrada (\oint)
- Fuentes y sumideros
- Carga eléctrica
- Distribuciones de carga
- Carga neta encerrada

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{1}{\epsilon_0} q$$



Código de colores:

Carga puntual positiva/negativa



Líneas de campo eléctrico



Clic para acceder a visualización en realidad aumentada



Vectores de área (\vec{A})



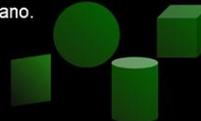
Vectores diferenciales de área ($d\vec{A}$)



Vectores de campo eléctrico



Superficies cerradas imaginarias (esfera, cilindro, cubo). Segmento plano.

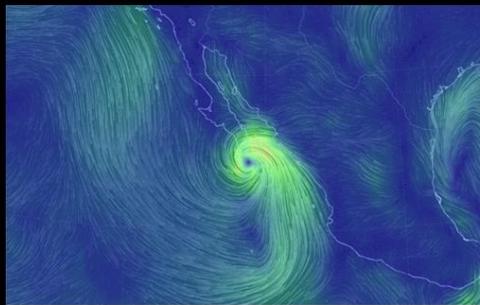


Flujo Φ

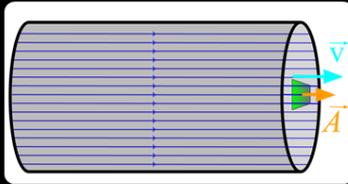
Medida de una cantidad física que atraviesa a una superficie en un tiempo determinado.

Es una propiedad de cualquier campo escalar o vectorial.

Intuitivamente, el número de líneas de campo que atraviesan a cualquier superficie, es una medida del flujo de un campo vectorial



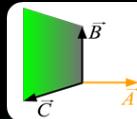
Flujo Φ



Ejemplo de una tubería con líquido circulando a velocidad constante (v) y sin considerar los efectos de fricción en el borde:

- Cada punto tiene asociado un \vec{v} en la misma dirección del flujo
- Para el área (A), existe un vector (\vec{A}), ortogonal a A

AR



$$\vec{A} = \vec{B} \times \vec{C} = |\vec{B}||\vec{C}|\text{sen}(\angle(B,C))$$

$$\Phi = \vec{v} \cdot \vec{A}$$

$$[\Phi] = \frac{m}{s} (m^2) = \frac{m^3}{s}$$

EDUC AR

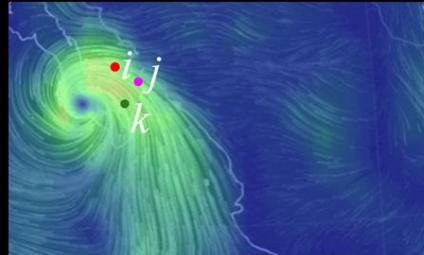
Flujo Φ

En el ejemplo del mapa de v del viento.

- La v es distinta en cualquier punto

Para calcular Φ debemos:

- Considerar v en cada punto del espacio (campo de \vec{v})
- Determinar A para la cual nos interesa calcular Φ

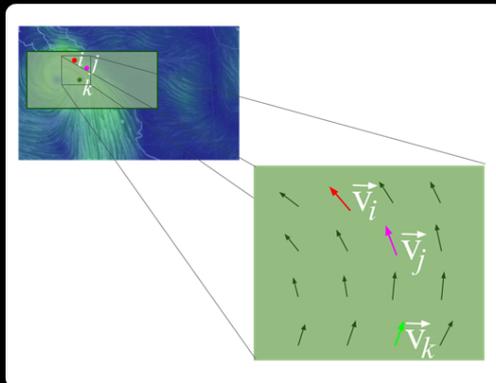


EDUC AR

Campo de \vec{v}

Es un ejemplo de un campo vectorial:

- A cada punto del espacio se asocia un \vec{v} con la dirección y magnitud de v correspondiente

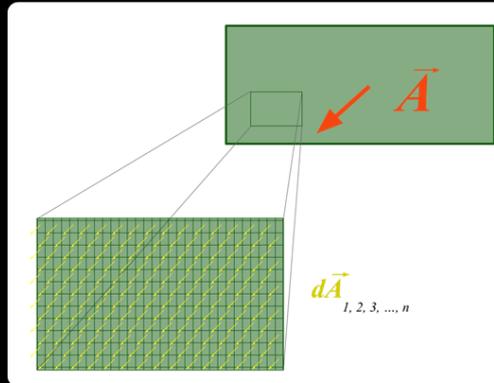


EDUC AR

A por determinar

Se debe dividir en unidades infinitesimales de área (dA) para poder calcular Φ en cada dA .

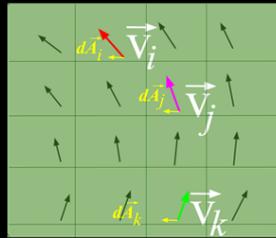
Cada dA también tiene asociado un $d\vec{A}$, que es ortogonal



EDUC[AR]

Flujo Φ

Podemos lograr que \vec{v} sea uniforme en cada dA



El Φ total es la suma de los flujos de cada elemento diferencial de área dA

$$\Phi_{Tot.} = \vec{v}_i \cdot d\vec{A}_i + \vec{v}_j \cdot d\vec{A}_j + \vec{v}_k \cdot d\vec{A}_k \dots + \vec{v}_n \cdot d\vec{A}_n$$

EDUC[AR]

Flujo Φ

La magnitud del flujo del campo \vec{v} a través de A :

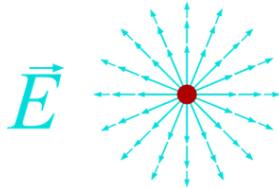
$$\Phi = \int \vec{v} \cdot d\vec{A}$$

EDUC[AR]

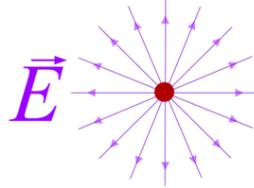
El campo eléctrico (\vec{E})

Es un ejemplo de un campo vectorial. Cada punto del espacio tiene asociado un \vec{E} que indica la magnitud, dirección y sentido del campo.

Vectores:

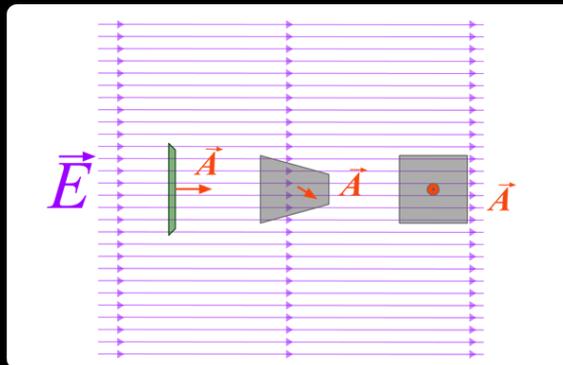


Líneas de campo:



EDUC [AR]

El flujo eléctrico (Φ_E)



EDUC [AR]

El flujo eléctrico (Φ_E)

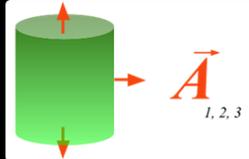
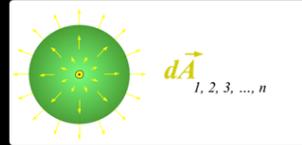
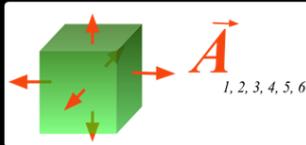
El cálculo de Φ_E a través de un plano :

$$\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int E dA \cos\theta = E \cos\theta \int dA = E A \cos\theta$$

EDUC [AR]

Superficies cerradas

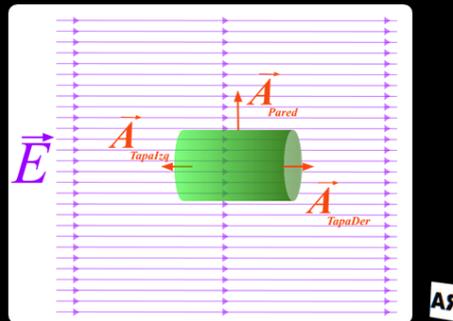
Se consideran un conjunto de superficies abiertas y unidas para encerrar un volumen. Por convención para una superficie cerrada los \vec{A} y $d\vec{A}$ apuntan hacia afuera.



EDUC **AR**

Φ_E a través de una superficie cerrada (flujo neto)

La suma del flujo eléctrico a través de las superficies que forman a la superficie cerrada, da como resultado el flujo eléctrico neto, en el caso del cilindro:



EDUC **AR**

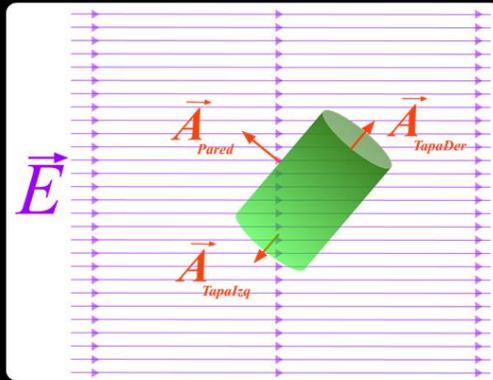
Φ_E a través de una superficie cerrada (flujo neto)

$$\Phi_{E \text{ Cilindro}} = \Phi_{E \text{ Tapa Der.}} + \Phi_{E \text{ Pared}} + \Phi_{E \text{ Tapa Izq.}}$$

+
0
-

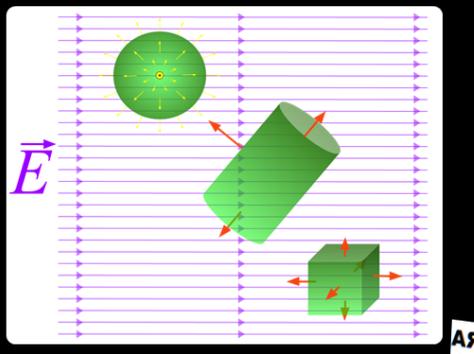
EDUC **AR**

Φ_E a través de una superficie cerrada (flujo neto)



EDUC[AR]

Φ_E a través de una superficie cerrada (flujo neto)

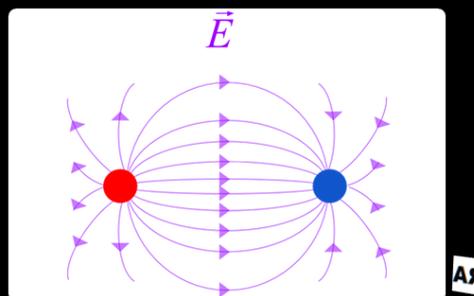


¿Cómo logramos que el flujo neto sea distinto de cero?

EDUC[AR]

Fuentes y sumideros

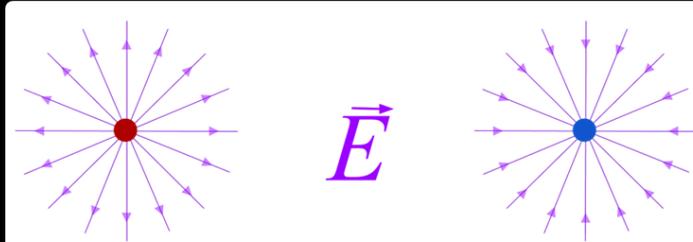
Una fuente se encuentra donde surgen las líneas de campo, un sumidero, lo encontramos donde terminan las líneas de campo. En el caso eléctrico, las **cargas positivas** son fuentes y las **cargas negativas** son sumideros.



EDUC[AR]

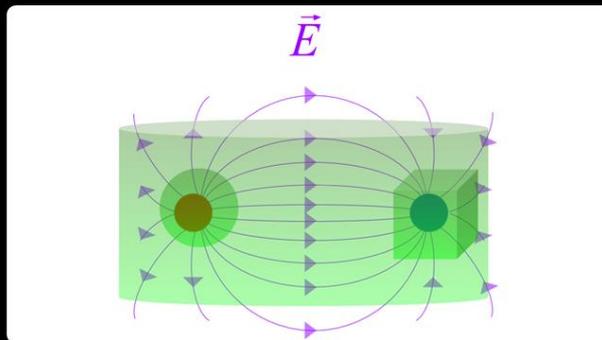
Fuentes y sumideros

Una fuente se encuentra donde surgen las líneas de campo, un sumidero, lo encontramos donde terminan las líneas de campo. En el caso eléctrico, las **cargas positivas** son fuentes y las **cargas negativas** son sumideros.



EDUC[AR]

Fuentes y sumideros



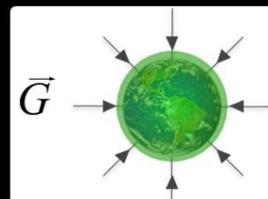
EDUC[AR]

Fuentes y sumideros

Si una superficie cerrada encierra a una fuente, entonces salen líneas de campo a través de la superficie y el flujo neto es **positivo**. En el caso contrario, la superficie cerrada encierra a un sumidero, las líneas de campo entran y el flujo neto es **negativo**. Por ejemplo:



Fuente de flujo luminoso, asociado a una cantidad escalar (cantidad de fotones)



EDUC[AR]

Integral de superficie cerrada (\oint)

Para la ley de Gauss, siempre buscamos el Φ_E neto a través de una superficie cerrada (superficie gaussiana) que encierre una carga neta

- La superficie debe dividirse en elementos dA
- El producto escalar debe calcularse para cada dA y sumarse sobre toda la superficie (integrar)

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

EDUC[AR]

Integral de superficie cerrada (\oint)

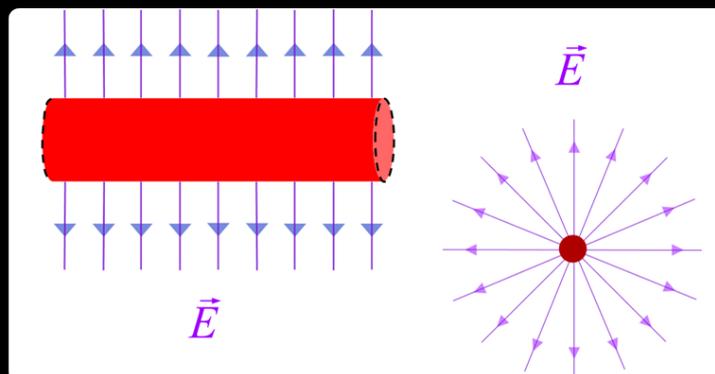
Si el flujo eléctrico es independiente de la superficie elegida, ¿qué utilidad tendría poder elegir cualquier superficie cerrada?



La simetría de la distribución de carga sugiere la forma que debe tener la superficie cerrada

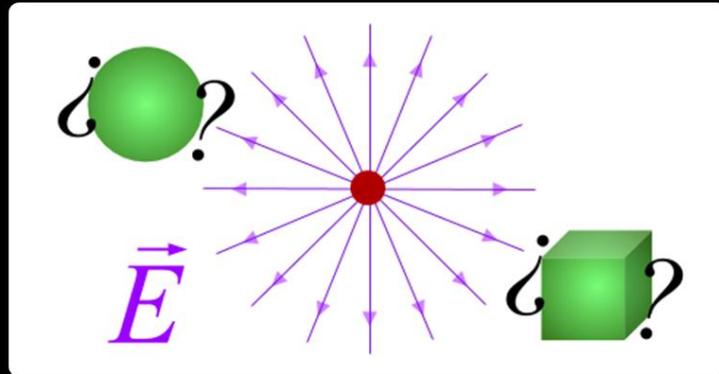
EDUC[AR]

Integral de superficie cerrada (\oint)



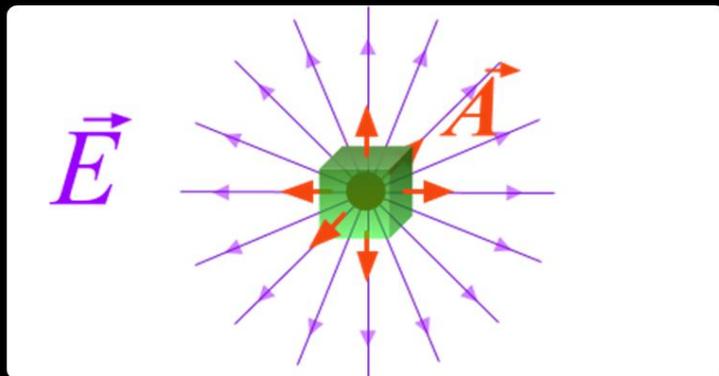
EDUC[AR]

Integral de superficie cerrada (ϕ)



EDUC[AR]

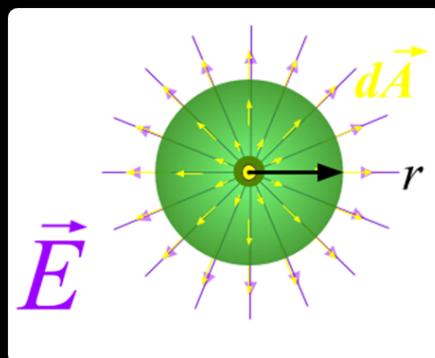
Integral de superficie cerrada (ϕ)



AR

EDUC[AR]

Integral de superficie cerrada (ϕ)



$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \oint |\vec{E}| |d\vec{A}| \cos(0^\circ) =$$

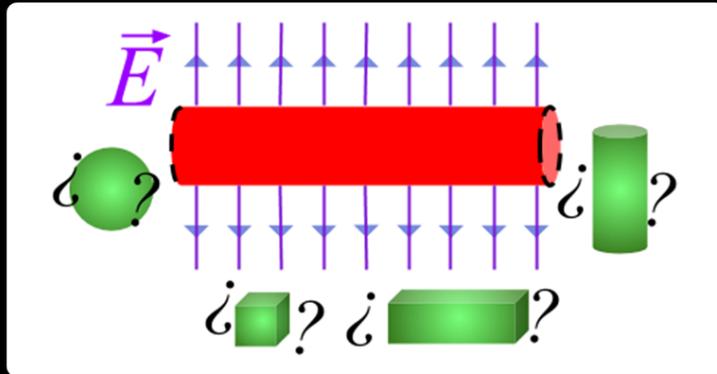
$$E \oint dA = EA =$$

$$E(4\pi r^2)$$

AR

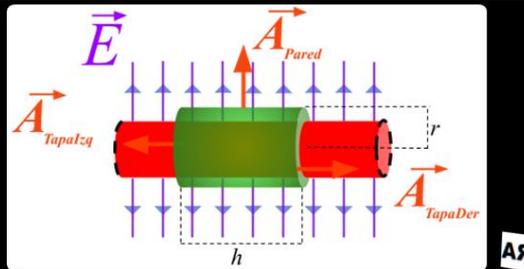
EDUC[AR]

Integral de superficie cerrada (\oint)



EDUC [AR]

Integral de superficie cerrada (\oint)



$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}_{TapaIzq} + \int \vec{E} \cdot d\vec{A}_{Pared} + \int \vec{E} \cdot d\vec{A}_{TapaDer} =$$

$$0 + \int |\vec{E}| |d\vec{A}_{TapaDer}| \cos(0^\circ) + 0 = E \int dA_{TapaDer} = EA_{TapaDer} = E(2\pi rh)$$

EDUC [AR]

La ley de Gauss

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{1}{\epsilon_0} q$$

Constante de permitividad eléctrica del vacío, $\epsilon_0 = 8.85418781762 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$

“El flujo eléctrico neto a través de cualquier superficie cerrada, es proporcional a la carga eléctrica neta encerrada por dicha superficie”

EDUC [AR]

Aplicación de la ley de Gauss

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{1}{\epsilon_0} q$$

En el caso de la carga positiva encerrada por una superficie gaussiana esférica

$$E (4\pi r^2) = \frac{1}{\epsilon_0} q$$

$$|\vec{E}| = \frac{1}{4\pi r^2 \epsilon_0} q$$

La magnitud de E en cualquier punto a una distancia r

Empleando

$$|\vec{E}| = \frac{1}{4\pi r^2 \epsilon_0} q$$

Y

$$E = \frac{F}{q_0}$$

llegamos a la ley de Coulomb

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2}$$



Aplicación de la ley de Gauss

✓ Por ver Vistos

- Campo eléctrico
- Líneas/vectores de campo eléctrico
- Flujo (ϕ)
- Flujo eléctrico (ϕ_E)
- Flujo neto
- Vectores de área (\vec{A})
- Vectores diferenciales de área ($d\vec{A}$)
- Superficie cerrada
- Integral de superficie cerrada (\oint)
- Fuentes y sumideros
- Carga eléctrica
- Distribuciones de carga
- Carga neta encerrada

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{1}{\epsilon_0} q$$



¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

EXPOSICIÓN REALIZADA CON EL APOYO DEL
PROGRAMA UNAM-DGAPA-PAPIME PE110418



Educación y
realidad aumentada

Bibliografía

¿Qué es la automatización de la TI? (s. f.). Recuperado 19 de agosto de 2020, de <https://www.redhat.com/es/topics/automation/whats-it-automation>

Akçayir, M. y Akçayir, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*. 20, 1-11. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>

Alsirhani, M.A. (2012). Análisis de sistemas de realidad aumentada y metodología para el desarrollo de aplicaciones educativas (Trabajo de fin de Máster). Universidad Rey Juan Carlos. Escuela Superior de Ingeniería Informática. Madrid, España. URI: <http://hdl.handle.net/10115/7805>

Alvarado Zamorano, C., Castañeda Martínez, R., Eslava Cervantes, A. L. y de la Cruz Martínez, G. (2016). Integrando la Realidad Aumentada a un trabajo práctico sobre elementos y compuestos. *Colección Memorias De Los Congresos De La Sociedad Química De México, 52° Congreso Mexicano De Química y 35° Congreso Nacional De Educación Química*. 184-186. Recuperado de https://sqm.org.mx/wp-content/uploads/2021/04/000Coleccion_memorias_2017_SQM.pdf

Aplicaciones reales de las gafas de realidad aumentada. (10 de abril de 2019). Torrysoft. Recuperado de <https://www.torrysoft.com/index.php/2019/04/10/aplicaciones-reales-de-las-gafas-de-realidad-aumentada/>

Armijos, L. (2013). *Tendencias pedagógicas*. Presentado en Congreso Nacional Pedagogía de Don Bosco: Reflexiones, Experiencias y Desafíos. Mesa de Participación Estudiantil en la Pedagogía Salesiana, Cuenca, Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6796/1/Congreso%20Nacional%20pedagogia%20de%20Don%20Bosco%204.pdf>

Autogrill apuesta por la innovación a través de una aplicación de realidad aumentada. (3 de agosto de 2017). Diego Coquillat, El Periódico Digital de los Restaurantes. Recuperado de <https://www.diegocoquillat.com/autogrill-apuesta-por-la-innovacion-a-traves-de-una-aplicacion-de-realidad-aumentada/>

Azuma, R. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators And Virtual Environments*, 6(4), 355-385. <http://dx.doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>

Biblioteca Médica Nacional de la República de Cuba. Centro Nacional de Información de Ciencias Médicas. (2020, 23 junio). ¿Qué son las TIC? Recuperado 10 de julio de 2020, de <http://www.bmns.sld.cu/que-son-las-tic>

Blasco, L. (2016, 5 septiembre). Cuáles son las diferencias entre E, GPRS, 3G, 4G, 5G y esas otras redes a las que se conecta tu celular (y cómo te afectan tu conexión a internet). Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-37247130>

Blázquez-Sevilla, A. Realidad aumentada en educación. Gabinete de Tele-Educación del Vicerrectorado de Servicios Tecnológicos de la Universidad Politécnica de Madrid, España, 2017. Recuperado de http://oa.upm.es/45985/1/Realidad_Aumentada_Educacion.pdf

Brown, M. (2020, 6 abril). Education in the Time of the Virus; or, Flying the Plane While Building It. Recuperado 21 de julio de 2020, de <https://er.educause.edu/blogs/2020/4/education-in-the-time-of-the-virus-or-flying-the-plane-while-building-it>

Caudell, T.P., y Mizell, D.W. (1992). Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*, ii, 659-669 vol.2. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/183317>

Colaboradores de Wikipedia. (2020, 4 junio). Telefonía móvil 3G. Recuperado 16 de julio de 2020, de https://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_3G

Del Cerro Velázquez, F., y Morales Méndez, G. (2017). Realidad Aumentada como herramienta de mejora de la inteligencia espacial en estudiantes de educación secundaria. *Revista De Educación a Distancia*, 17(54), doi: <http://dx.doi.org/10.6018/red/54/5>

Duenser, A., Walker, L., Horner, H. y Bentall, D. (2012). Creating interactive physics education books with augmented reality. 24th Australian Computer-Human Interaction Conference, Melbourne, Australia. DOI: 10.1145/2414536.2414554. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/262366547_Creating_interactive_physics_education_books_with_augmented_reality

Earth Wind Map. (s. f.). Earth Wind Map. Recuperado 14 de febrero de 2021, de <https://earth.nullschool.net/#current/wind/surface/level/>

Enríquez, S. C. (2012, 14 agosto). La formación básica para docentes y las TAC [Publicación en Blog de internet. Educación y TIC. Universidad Nacional de La Plata, Secretaría de Asuntos Académicos, Dirección de Educación a Distancia]. Recuperado de <https://www.ead.unlp.edu.ar/blog/la-formacion-basica-para-docentes-y-las-tac/#comments>

Enríquez, S. C. (2013, abril). *Luego de las TIC, las TAC*. Presentado en II Jornadas Nacionales de TIC e Innovación en el Aula. Universidad Nacional de La Plata. Dirección de Educación a Distancia, Innovación en el Aula y TIC, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26514>

Flores, D., Castro, S. y Martig, S. (2010) Realidad aumentada en visualización. XII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. Calafate, Santa Cruz, Argentina.

García, J. Z., Godínez, T. B. y Solís, Á. Q. (2012). *Aceptación de las TIC en la docencia* (1.a ed.). Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/19501/Documento_completo.pdf?sequence=1

García, L. (2020, 5 junio). Coronavirus. Educación y uso de tecnologías en días de pandemia. Recuperado 21 de julio de 2020, de <http://ciencia.unam.mx/leer/1006/educacion-y-uso-de-tecnologias-en-dias-de-pandemia>

González Fresno, B. (2018, 18 mayo). BBVA presenta la primera app que permite buscar vivienda a través de realidad aumentada. Recuperado de <https://www.bbva.com/es/bbva-presenta-primera-app-permite-buscar-vivienda-traves-realidad-aumentada/>

González Morcillo, C., Vallejo Fernández, D., Albusac Jiménez, J. A., & Castro Sánchez, J. J. (2012). *Realidad aumentada. Un enfoque práctico con ARToolKit y Blender*. (1ª edición). Ciudad Real, España: Bubok Publishing. Recuperado de <http://www.librorealidadaumentada.com/>

International Telecommunication Union. (2019, 5 noviembre). New ITU data reveal growing Internet uptake but a widening digital gender divide. Recuperado 16 de julio de 2020, de <https://www.itu.int/en/mediacentre/Pages/2019-PR19.aspx>

Kriscautzky Laxague, M. (2020, 5 junio). Re: Coronavirus. Educación y uso de tecnologías en días de pandemia. [Comentario]. Recuperado de <http://ciencia.unam.mx/leer/1006/educacion-y-uso-de-tecnologias-en-dias-de-pandemia>

Lainez, B., Chocarro de Luis, E., Busto, J.H. y López, J. (2018). Aportaciones de la Realidad Aumentada en la inclusión en el aula de estudiantes con Trastorno del Espectro Autista. *EDMETIC, Revista de Educación Mediática y TIC*, 7(2), 120-134, doi: Educación Mediática y TIC, 7(2), 120-134, doi: <https://doi.org/10.21071/edmetic.v7i2.10134>

Latina Noticias. (2020, 22 mayo). *Profesor da clases casa por casa en Huancavelica* [Archivo de vídeo]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=6zMuHxg66r4&feature=youtu.be>

Lombillo Rivero, I y Valera, O. (2012, 15 mayo). ¿Medios de enseñanza tradicionales o prácticas tradicionales con el uso de los medios en el aula universitaria cubana? *Revista Iberoamericana de Educación*, Vol.(LIX), pp. 47-57. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5893983>

Lozano, R. (2011). De las TIC a las TAC: tecnologías del aprendizaje y del conocimiento. *Anuario ThinkEP*, 5, 45-47. Recuperado de <https://recyt.fecyt.es/index.php/ThinkEPI/article/view/30465>

Marín Díaz, V., Cabero Almenara, J. y Gallego Pérez, O. M. (Julio de 2018). Motivación y realidad aumentada: alumnos como consumidores y productores de objetos de

aprendizaje. *Aula Abierta*, 47 (3), 337-346. doi:
<https://doi.org/10.17811/rifie.47.3.2018.337-346>

Martínez Martínez, P. U., y Piccinelli Bocchi, G. (2018, julio). Realidad aumentada en el proceso de enseñanza del electromagnetismo en ingeniería. Ponencia presentada en el 4to. Encuentro universitario de mejores prácticas de uso de TIC en la educación, Ciudad de México, México. Recuperado de <https://encuentro.educatic.unam.mx/educatic2018/memorias/80.pdf>

Martínez Martínez, P. U., y Piccinelli Bocchi, G. (2019a, marzo). Realidad aumentada para el estudio de la ley de Gauss con ingenieros en computación. Ponencia presentada en el VIII Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria, La Habana, Cuba. El sitio de internet para la publicación de estas memorias actualmente se encuentra en construcción, por lo que ponemos a disposición de los interesados dicho material en el siguiente enlace: <https://1drv.ms/b/s!AreoxD9yAekIhjTF46FU54RILGj9?e=CikbUi>

Martínez Martínez, P. U., y Piccinelli Bocchi, G. (2019b, julio). Realidad aumentada y la innovación educativa para el estudio del electromagnetismo con ingenieros en computación. Ponencia presentada en el 5to. Encuentro universitario de mejores prácticas de uso de TIC en la educación, Ciudad de México, México. Recuperado de <https://encuentro.educatic.unam.mx/educatic2019/memorias/182.pdf>

Molina, E., Muñoz, A., y González, C. (2016). Herramienta didáctica con realidad aumentada para soportar el aprendizaje activo en el aula. En *Recursos educativos aumentados. Una oportunidad para la inclusión* (1.a ed., pp. 43-55). Cartagena de Indias, Colombia: Tecnológico Comfenalco. Recuperado de <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1712/HERRAMIENTA%20DID%3%81CTICA%20CON%20REALIDAD%20AUMENTADA%20PARA%20SOPORTAR%20EL%20APRENDIZAJE%20ACTIVO%20EN%20EL%20AULA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MXCity Guía Insider. (s. f.). El Museo Nacional de Antropología es el primer museo en usar realidad aumentada. Recuperado de <https://mxcity.mx/2018/05/el-museo-nacional-de-antropologia-es-el-primer-museo-en-usar-una-app-de-realidad-aumentada/>

Observatorio de Innovación Educativa. (2017). EduTrends Realidad aumentada y realidad virtual. Recuperado de <https://observatorio.tec.mx/edu-trends-realidad-virtual-y-realidad-aumentada>

Ponce Díaz, R. (2020, 4 mayo). Migración digital en cinco pasos. Recuperado 29 de septiembre de 2020, de <https://observatorio.tec.mx/edu-bits-blog/migracion-digital-en-cinco-pasos?fbclid=IwAR1j6ry00Na0I5GSdWua7lL2vOIsfIHjTScv3FdAQLfYZwwNWngOAcRzfDo>

Prendez Espinoza, C. (2015). Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas. *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*, No. 46, 187-203. doi: <http://dx.doi.org/10.12795/pixelbit.2015.i46.12>

Realidad aumentada llega a museos. (10 de enero de 2017). El Universal. Recuperado de <https://www.eluniversal.com.mx/articulo/techbit/2017/01/10/realidad-aumentada-llega-museos>

Redacción del periódico Excelsior. (2020, 26 agosto). Captan a niño llorando de frustración por clases virtuales; ya es viral. Recuperado 27 de septiembre de 2020, de <https://www.excelsior.com.mx/global/captan-a-nino-llorando-de-frustracion-por-clases-virtuales-ya-es-viral/1401916?fbclid=IwAR0zreWkUgZ5icrIWvosN8KvoTOQjJ2sgdfTR75YIYskalP4ZC5SsxVXjMQ>

Restrepo Durán, D. J., Cuello Montañez, L. S. y Contreras Chinchilla, L. (2015). Juegos didácticos basados en realidad aumentada como apoyo en la enseñanza de biología. *INGENIARE, Universidad Libre-Barranquilla*, 11(19), 99-116. Recuperado de <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.19.528>

Romanos, B. (2017, 20 julio). Autogrill On: una app de realidad aumentada de Autogrill y BSense. Recuperado de <https://www.techfoodmag.com/autogrill-on-la-app-de-ar-de-autogrill-y-bsense/>

Romero, V.M (septiembre de 2019). *Cómo las realidades extendidas están transformando nuestras vidas y el mercado laboral*. Diario Información. Recuperado de: <https://www.diarioinformacion.com/>

Roussou, M. (2004). Learning by Doing and Learning Through Play: An Exploration of Interactivity in Virtual Environments for Children. *Computers in Entertainment (CIE) - Theoretical and Practical Computer Applications in Entertainment*, 2(1), 1 - 23. doi: <https://doi.org/10.1145/973801.973818>

Sánchez, A. (2011). Realidad Aumentada. Una experiencia real. [Archivo de vídeo]. *I Congreso Virtual Sobre Educación y TIC 2011 "La escuela del futuro"*. Video-presentación. Recuperado de <https://youtu.be/XojvqauJyNg>

Secretaría General de la Universidad Nacional Autónoma de México y Secretaría de Desarrollo Institucional de la Universidad Nacional Autónoma de México. (2020, abril). *Recomendaciones para la transición a la docencia no presencial*. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <https://distancia.cuaed.unam.mx/descargas/Recomendaciones-para-la-transicion-a-la-docencia-no-presencial.pdf>

Solak, A. (17 de septiembre de 2019). Modelos de CYPECAD en Realidad Aumentada con "BIMserver.center AR". BIM server.center. Recuperado de <https://blog.bimserver.center/es/modelos-de-cypecad-en-realidad-aumentada-con-bimserver-center-ar%E2%80%8B/>

Starbucks ofrece café con realidad aumentada a sus clientes en el continente asiático. (14 de diciembre de 2017). Digital AV. Recuperado de <https://www.digitalavmagazine.com/2017/12/14/starbucks-abre-roastery-experience-en-china/>

Thomas, D. (2014, 8 agosto). Cómo la realidad aumentada está cambiando el mundo. *BBC News Mundo*. Recuperado de <https://www.bbc.com>

Universidad de Antioquía. (2015, 8 abril). Manejo de TIC: Definición del concepto de TIC. Recuperado de <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/investigacion/mod/page/view.php?id=3118>

Universidad Nacional Autónoma de México. Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades. (2018). ¿Qué son las TIC? Recuperado de <http://tutorial.cch.unam.mx/bloque4/lasTIC>