

# NEXTIA

ISSN 2683-1988



**UVP**  
UNIVERSIDAD  
DEL VALLE DE PUEBLA

**Nueva Época**

año 7, No. 11, enero-junio 2021

NEXTIA

REVISTA DE INGENIERÍAS  
Y DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

NEXTIA, año 7, No. 11, enero-junio 2021, es una publicación semestral editada por la Universidad del Valle de Puebla S.C., Calle 3 sur # 5759, Col. El Cerrito. CP. 72440, Puebla, Puebla, Tel. (222) 26-69-488, <[www.uvp.mx](http://www.uvp.mx)>. Editoras Responsables: Dra. María Hortensia Irma Lozano e Islas y Mtra. Irma Higinia Illescas Lozano. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No.04-2018-012418122300-203, ISSN 2683-1988, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Cuidado editorial a cargo de Guillermo Guadarrama Mendoza.

Las posturas expresadas por los autores no necesariamente reflejan las posturas de la Universidad del Valle de Puebla, de su Coordinación de Editorial y de Publicaciones, de las editoras responsables ni del staff editorial involucrado en la edición de la revista.

Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos de la presente publicación, siempre y cuando se acredite adecuadamente el origen de estos.

Cualquier carta dirigida al editor debe enviarse al correo [coord.editorial@uvp.mx](mailto:coord.editorial@uvp.mx).

NEXTIA

REVISTA DE INGENIERÍAS  
Y DIVULGACIÓN CIENTÍFICA





**Universidad del Valle de Puebla**

Rectora

**Hortensia Irma Lozano e Islas**

Vicerrector Académico

**Jaime Vicente Illescas Lozano**

Directora General Académica

**María de Jesús Espino Guevara**

Director de Educación e Investigación

**Emmanuel Flores Flores**

Directora Científica

**María del Rosario Pérez Salazar**

Editor Administrativo

**Guillermo Guadarrama Mendoza**

Formación Tipográfica y Diseño Editorial

**Gabriela Arias Limón**



## **Directorio Editorial**

**Eduardo Torres García**

Universidad del Valle de Puebla

**Miguel Ángel Reyes Vergara**

Universidad del Valle de Puebla

**Claudio Alfredo Jiménez Carranza**

Universidad del Valle de Puebla

**Héctor Reyes Carrasco**

Universidad del Valle de Puebla

**Sabel Flores Maclovio**

Universidad del Valle de Puebla

**José Carlos Romero Michihua**

Universidad del Valle de Puebla



## **Consejo Científico**

**Félix Eduardo Sánchez Ardila**  
Fundación Universitaria San Mateo  
*Colombia*

**John Edward Aguirre Cuervo**  
Institución Universitaria Pascual Bravo  
*Colombia*

**Jim Giraldo Builes**  
Institución Universitaria Pascual Bravo  
*Colombia*

**Missael Román del Valle**  
CIATEQ, Centro de Tecnología Avanzada  
*México*

**Rolando Maroño Vázquez**  
Sustainable Design A.C.  
*México*

## Índice

### Artículos

Estándares IEEE sobre el análisis y diseño de software en proyectos de control de información **9**

**Alejandro Salas Rodríguez**

### Divulgación Científica

La teoría cuántica de los campos y sus aplicaciones: la física de partículas de altas energías **28**

**Sebastián Rosado Navarro**

¿Cómo estudiar criaturas fantásticas? **38**

**Everardo Rafael Tendilla Beltrán**



## ARTÍCULOS

# ESTÁNDARES IEEE SOBRE EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE SOFTWARE EN PROYECTOS DE CONTROL DE INFORMACIÓN

## IEEE STANDARDS ON THE ANALISYS AND DESIGN OF INFORMATION CONTROL SOFTWARE

Alejandro Salas Rodríguez

Universidad del Valle de Puebla

mt01319@uvp.edu.mx

### **Resumen**

Los sistemas y aplicaciones han tenido una gran demanda en los últimos años de acuerdo con el control de información en empresas, organizaciones e instituciones, ya que esto permite controlar volúmenes de información de manera gestionada. Sin embargo, en muchas ocasiones existen fracasos en los proyectos de software por no aplicar metodologías, estándares y estrategias de calidad que permitan obtener buenos resultados. Por lo tanto, se propone el análisis y diseño de un sistema de administración en entorno web para llevar a cabo la gestión de la información en las áreas de Coordinación de Investigación y Proyectos de Titulación, Biblioteca Central y Sistemas Digitales (CIPTBS). De esta manera aplicando la metodología diamanté, planificación estratégica de sistemas, diagramas de proceso, los estándares del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) IEEE 830-1998, IEEE 1016-2009, IEEE 1064-2001, y la ingeniería de la usabilidad se pueden obtener resultados óptimos para analizar y controlar la gestión que se está

realizando en las áreas de acuerdo con las evidencias de investigación, procesos de titulación, administración de libros, tesis digitales y el repositorio institucional de la Universidad del Valle de Puebla. Esto permitirá un análisis detallado de la aplicación; Además, si se aplica correctamente, este tipo de medidas pueden proporcionar resultados óptimos en proyectos de control de la información.

**Palabras Clave:** Ingeniería de Software, Estándares, Planificación Estratégica, Metodologías, Ingeniería de Usabilidad.

### **Abstract**

According to information control in companies, organizations and institutions, systems and applications have been in great demand in recent years since these allow controlling volumes of information in a managed way. However, on many occasions there are failures in software projects due to not applying quality methodologies, standards and strategies that allow obtaining good results. Therefore, the analysis and design of an administration system in a web environment is proposed to carry out the information management in the areas of Research Coordination and Degree Projects, Central Library and Digital Systems (Coordinación de Investigación y Proyectos de Titulación, Biblioteca Central y Sistemas Digitales, also known as CIPTBS). That way, by applying the diamond methodology, the strategic systems planning, the process diagrams and the standards of the Electrical and Electronic Engineers (IEEE) IEEE 830-1998, IEEE 1016-2009, IEEE 1064-2001. In addition to the usability engineering, optimal results might be obtained. After obtaining such results, they can be used to analyze and control the management that is being carried out in the areas according to research evidences, graduation processes, book management, digital theses, and the institutional repository of the Universidad del Valle de Puebla. This will allow a detailed analysis of the application; moreover, if applied properly, this type of measures might provide optimal results in information control projects.

**Keywords:** Software Engineering, Standards, Strategic Planning, Methodologies, Usability Engineering.

## **Introducción**

Actualmente las tecnologías de la información son una parte fundamental para el desarrollo de las empresas, microempresas e instituciones. Asimismo, se deben aplicar normas para obtener una buena planificación y especificación en relación con la gestión de la información dentro de las empresas. De esta manera, se requieren de un conjunto de técnicas para el análisis y desarrollo de metodologías, optimizando los procesos internos con mecanismos de estructuración para obtener beneficios de los procesos dentro de las áreas de la organización. Hay que mencionar que en los últimos años las tecnologías emergentes generan un gran resultado en la demanda de entornos digitales con mecanismos que se requieren para el beneficio de las instituciones. Lo mismo con las tecnologías de vanguardia que hoy en día están mejorando de manera esencial los procesos de automatización, de acuerdo con las diferentes metodologías ágiles para lograr un resultado óptimo. Según Corona et al.: “Del mismo modo, la ingeniería de software se utiliza para estructurar y planificar los sistemas de información, considerando que al tener un buen análisis y organización respecto al uso de estándares IEEE, se pueden obtener resultados de calidad” (2015, p.3). Por otro lado, citando a Somerville tenemos que: “la ingeniería de software es una tecnología muy importante para el futuro de la humanidad, además es importante desarrollar la disciplina, de manera que puedan crearse software más complejos” (2017, p.5).

El presente proyecto de investigación plantea el análisis y diseño de un sistema de administración en entorno web para llevar a cabo la gestión de la información en las áreas de Coordinación de Investigación y Proyectos de Titulación, Biblioteca Central y Sistemas Digitales (CIPTBS), en relación con estándares IEEE, Planificación Estratégica de Sistemas y la Ingeniería de la Usabilidad para analizar

y controlar la administración que se está realizando en las áreas de acuerdo con las evidencias de investigación, procesos de titulación, administración de libros, tesis digitales y el repositorio institucional de la Universidad del Valle de Puebla (UVP). La investigación será cualitativa. Como señala Hernández (2018), una investigación cualitativa es un método que propone evaluar, aprobar e interpretar la información a través de entrevistas, conversaciones y registros, entre otros. El alcance del estudio del presente tema es diagnóstico y explicativo, ya que se basa en el vínculo de procedimientos necesarios para describir el funcionamiento que tendrá la aplicación web en un futuro.

## Análisis

La importancia de un correcto control de información en un sistema radica en la aplicación de estándares, metodologías y estrategias, ya que empleando este tipo de medidas en la utilización de aplicaciones o sistemas de manera sustentada a corto y largo plazo se pueden obtener beneficios para gestionar la información óptimamente. Por lo tanto, la aplicabilidad que tienen este tipo de herramientas puede garantizar la correcta gestión que genera cada área involucrada. A continuación se describe el método general empleado:

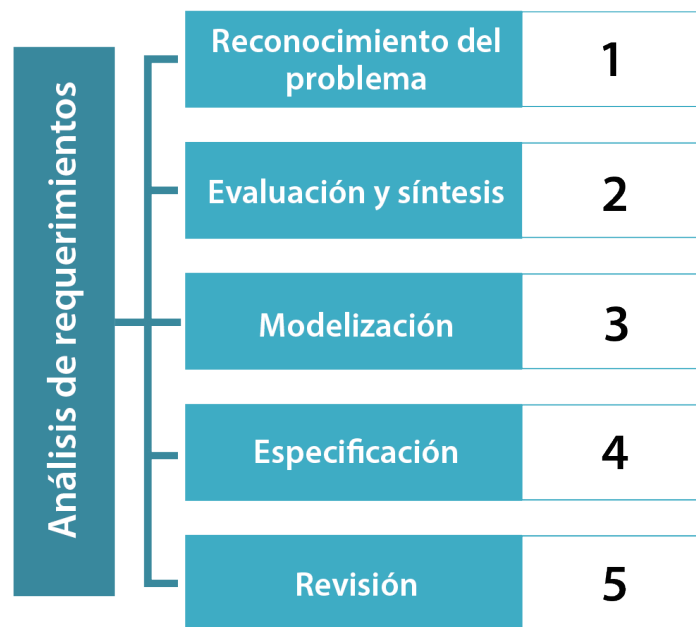
Figura 1.1 Método general de la investigación



Elaboración Propia

1) *Entrevistas*: Investigar la estructura diamanté y la metodología 5W+H para el análisis, diseño y aplicación de las entrevistas y actas de requerimiento. En este aspecto se toman en cuenta la correcta elaboración para la recolección de los requisitos de software (Ver Figura 1.2), en las áreas involucradas (CIPTBS), en el cual se aplicó el instrumento de análisis y diseño de entrevistas, recolección e interpretación de datos con los responsables de cada área con la finalidad de entender la problemática actual y conocer los procesos internos de gestión de la información.

Figura 1.2: Proceso de análisis de requerimientos

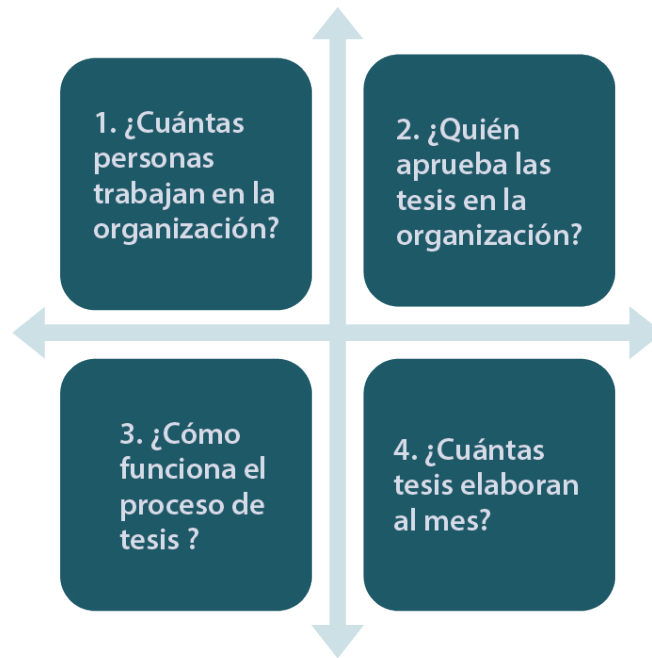


Elaborado con información recuperada de Cueva, 2014.

La preguntas que debe de llevar la estructura diamanté para la aplicación de entrevistas (Ver Figura 1.3), cuenta con un proceso riguroso para llevar a cabo

el análisis, no obstante, esto permitirá tener un levantamiento de requerimientos de manera detallada de acuerdo con la problemática y los procesos internos de gestión de la información actuales.

Figura 1.3: Ejemplo Preguntas de la Estructura Diamanté

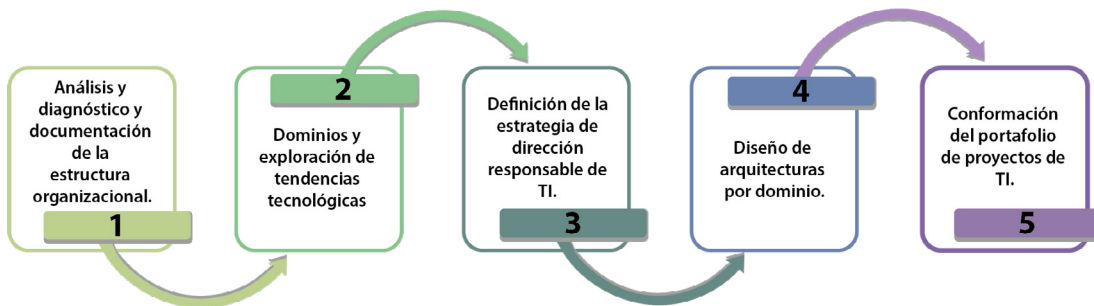


Elaboración propia.

Asimismo, la estructura permitirá recabar la información a partir de entrevistas abiertas y cerradas para obtener un resultado óptimo, siempre y cuando se apliquen los pasos correctamente. De esta manera permitirá que las entrevistas que se realicen durante el desarrollo del proyecto se implementen en un periodo de dos meses para recolectar la información necesaria para el diseño de la aplicación. Por este motivo, la estructura puede ofrecer buenas características y soluciones en las organizaciones o instituciones mejorando las especificaciones de estructuración y planificación de acuerdo con el levantamiento de requerimientos.

(2) *Planificación estratégica de Sistemas de Información*: Utilizar los fundamentos teóricos de la planificación estratégica de sistemas de información permitirá determinar la situación actual de la organización, identificar la problemática y comprobar el estado de los sistemas de información. No obstante, con esta ejecución se logrará el entendimiento de cómo funcionan las áreas internamente con el proceso de planeación (Ver Figura 1.4).

Figura 1.4: Proceso de Planeación Estratégica de SI/TI



Elaborado con información recuperada de MINTIC, 2019.

(3) *Diagramas de Proceso*: La información recolectada mediante la aplicación de entrevistas y la planificación estratégica de sistemas de información permitió realizar el levantamiento de requerimientos de manera detalla, además, se desarrollaron los diagramas de flujo de cada proceso de las áreas involucradas en el cual permitirá conocer los procesos internos antes de analizar la aplicación que requieren los clientes.

(4) *IEEE 830-1998*: Analizar todos los puntos que contempla el estándar IEEE 830-1998, en relación con las áreas involucradas de la UVP, además, revisar periódicamente los requerimientos de software con los clientes para estar



informados del avance que va teniendo el proyecto en cualquier cambio que pudiera surgir respecto al diseño de la aplicación.

(5) *IEEE 1016-2009*: Examinar los bocetos de cada uno de los módulos que contendrá la aplicación de acuerdo con las especificaciones que establece el estándar, ya que es importante tener revisiones con las partes involucradas para ver el avance de los diseños de los bocetos en el proyecto.

Figura 1.5: Proceso del Estándar IEEE-1016-2009



Elaboración propia.

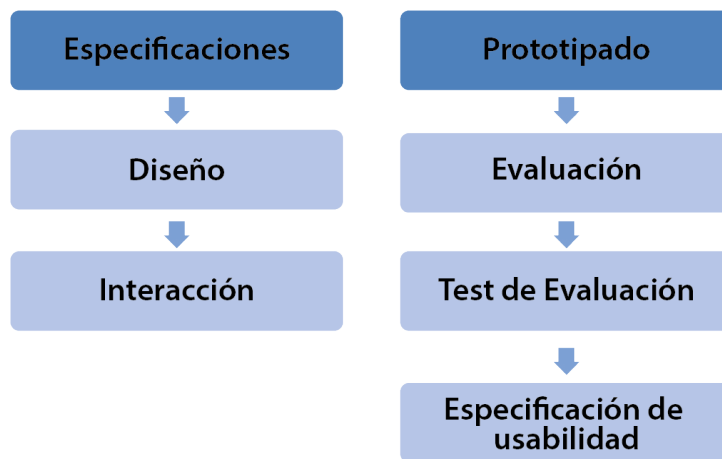
1. **Criterios de calidad:** Se debe definir el criterio en el cual la calidad del Software Design Description (SDD) será evaluada.

2. Trazabilidad: Se debe especificar cada entidad de diseño descrita en el SDD, donde debe satisfacer un requerimiento interno de diseño.
3. Cumplimiento de estándares: Todos los SDD, deberán contar con el cumplimiento de la norma para el correcto diseño del sistema. También, todos los bocetos deberán tener los puntos que especifica el estándar para comprobar si fueron cubiertos en cada sección.
4. Compresibilidad: Es un punto importante en el desarrollo del proyecto, ya que se deben de plantear una serie de preguntas que ayudarán de manera general en la revisión de los requerimientos. Esto permitirá entender si realmente se comprendió lo que se requiere del sistema.
5. Modularidad: Es el grado en el cual el problema es dividido en secciones más pequeñas para darle una solución que pueda ser alcanzada en forma independiente.
6. Cohesión: Es el grado en que los elementos internos de un módulo son relacionados con otros.
7. Acople: Es el grado en el cual los módulos individuales son independientes entre sí.
8. Concentración: Es el número de módulos que llaman a una recomendación cuando se maximiza la concentración.
9. División de control: Número de módulos subordinados llamados por una sección, donde una gran división de control mayor a siete puede indicar que un módulo es demasiado complejo, ya que esto quiere decir que no tiene una estructura correcta.
10. Implementabilidad: Debe proveer toda la información necesaria para que el programador pueda codificar las pantallas del sistema como fueron plasmadas en los bocetos finales.
11. Modificabilidad: El diseño de la información será representada de una sola forma, donde puede dar soporte y modificaciones a los bocetos del sistema en un futuro.

12. Extendibilidad: Consiste en la forma para que el modelo pueda ser adaptado a cambios de los requerimientos, en el cual los elementos claves para la extendibilidad son la simplicidad del diseño y la modularidad. (IEEE, 2009).

**(6) Ingeniería de usabilidad:** Investigar los fundamentos de acuerdo con la ingeniería de la usabilidad para ver cómo se comportará la aplicación en un futuro, en relación con los bocetos o wireframes antes de codificar una línea de código de la aplicación, ya que esto propiciará un ahorro en costos adicionales en algún momento determinado del desarrollo, dado que esto mejorará la interfaz de manera fácil y sencilla considerando que el aprendizaje no sea difícil para cualquier usuario que la maneje. Asimismo, la usabilidad tendrá un valor importante para el diseño de la aplicación, ya que no hay necesidad de programar una línea de código, sino que mediante el uso de bocetos el usuario puede especificar la productividad, eficiencia y satisfacción mediante este tipo de normativas y especificaciones que establece el estándar. Finalmente, esto permitirá evitar errores en el diseño de los bocetos, por lo cual se especifica el seguimiento que se analizó para la investigación.

Figura 1.6: Técnicas para la ingeniería de usabilidad Técnica de especificaciones:



Elaborado con información recuperada de Sánchez, 2011.

1. Especificaciones: En el inicio del proyecto se deben especificar la recopilación de los requisitos para la ejecución del sistema y el nivel de usabilidad que se pretende obtener. Es importante identificar al usuario y las tareas que va a realizar en el sistema.
2. Diseño: Interacción del usuario con el sistema.
3. Diseño e interacción: Se debe describir el diseño de interacción con el sistema y las técnicas de prototipado.

*Técnica de prototipado:*

1. Prototipado y participación de usuarios: Se deben describir la elaboración de wireframes o prototipos de la interfaz web del sitio que se pretende diseñar. De esta manera, el diseño que se realiza con este prototipado corresponde al que tendrá el sitio, puesto que se puede evaluar la usabilidad del sitio sin necesidad de esperar a su implantación del sistema final.
2. Evaluación: Permite conocer el nivel de usabilidad que alcanza el prototipo actual del sistema y las características que contiene.
3. Test de evaluación: En esta parte se identifican los fallos de la usabilidad existentes y se pueden generar soluciones al problema identificado.
4. Especificaciones de la usabilidad: Permite realizar mediante una evaluación los complementos para la inspección sin usuarios. Consiste en examinar el uso de la interfaz mediante varios expertos que evalúen el cumplimiento del diseño en relación con la ingeniería de usabilidad.

(7) *Estándar 1064-2001*: La creación de manuales respecto a la documentación de software que el usuario genera no tiene un fundamento acerca del cómo hacer una correcta documentación en la mayoría de los casos. Por ello, no se garantiza que el documento que se está realizando se elabore de manera correcta. Los factores para el estándar IEEE, para los usuarios que implementen este tipo de normas en

relación con la documentación y especificación, podrán empezar a estandarizar este tipo de normativas que permitan tener una guía de acuerdo con las características y especificaciones de una buena documentación. Sin embargo, se puede garantizar que la documentación que se está diseñando mediante este tipo de estándares ayudará a los usuarios a tener un seguimiento de manera correcta. (Ver Figura 1.7).

Figura 1.7: Estándar IEEE 1063-2001



Elaborado con información recuperada de Robinson, 2010.

## Desarrollo

La importancia de la aplicación y seguimiento de la entrevista diamanté radica en un correcto análisis para obtener resultados óptimos de acuerdo a la información que se necesita recolectar. Es por ello que el uso de este tipo de normativas hará posible el desarrollo del levantamiento de requerimientos, la planificación

estratégica de sistemas, los diagramas de proceso, los estándares IEEE 830, 1016-2009, 1064-2001 y la ingeniería de la usabilidad.

Se abarcaron las áreas de Coordinación de Investigación y Proyectos de Titulación, Biblioteca Central y Sistemas Digitales (CIPTBS), aplicando el instrumento de entrevistas a los responsables de cada área con la finalidad de entender el funcionamiento interno. Se tomó en cuenta la información que se pretende recolectar mediante un formato realizado a medida para las áreas involucradas, en el cual se aplicaron las (5W+1H) de modo que se pudieron especificar preguntas detalladas mediante (What? ¿Qué?, Who? ¿Quién?, When? ¿Cuándo?, Where? ¿Dónde?, Why? ¿Por qué?, How? ¿Cómo?). Trías (2011) especifica que las (5W+H), es una metodología de análisis empresarial que consiste en contestar una serie de preguntas para generar estrategias de organización mediante la planeación y eficacia.

La investigación se realizó aplicando de manera específica los estándares y metodologías analizados para la misma y procedió tal como se describe en los párrafos siguientes.

Primero se desarrolló el proceso de análisis, el cual implicó mayor tiempo para el avance de las entrevistas aplicando la metodología diamanté. De esta manera, se realizaron entrevistas en un lapso de dos meses en las áreas de Coordinación de Investigación y Proyectos de Titulación, Biblioteca Central y Sistemas Digitales. Esto permitió realizar un análisis riguroso de la información que gestiona cada área involucrada.

Posteriormente, se procedió a la planificación estratégica, la cual ayudó a visualizar en qué situación se encontraba cada área involucrada en el proyecto. Esto generó valor agregado al momento de decidir qué metodología o norma se va aplicar internamente.

Después, se realizó el levantamiento de requerimientos mediante un análisis de acuerdo con la aplicación de entrevistas, lo cual permitió conocer la problemática y las limitantes con las que contaba cada área.

A continuación, se analizaron y desarrollaron los diagramas de flujo de cada proceso que llevan las áreas internamente. Por ejemplo, las evidencias de investigación, proyectos de titulación, gestión del repositorio institucional, libros y tesis digitales. Esto permitirá tener un seguimiento adecuado y conocer paso a paso el proceso que debe de seguir cada área para tener un resultado óptimo.

Se llevó también a cabo el IEEE 830-1998 teniendo en cuenta que su función principal es la especificación de requisitos de software. Se obtuvieron los diagramas de roles o diagramas de flujo, funciones del producto, diagramas de lenguaje unificado de modelado (UML), requerimientos funcionales y no funcionales, requisitos de hardware y software y las historias de usuario, considerando que al final del desarrollo de este conjunto de recomendaciones se obtendrá una documentación final con los acuerdos entre el cliente y el analista, en relación con las necesidades que se requieren para la aplicación web.

De igual modo, se realizaron los diseños de los diferentes módulos con los que contará la aplicación en relación con las áreas atendidas (CIPTBS), de acuerdo con las especificaciones y recomendaciones que establece el estándar IEEE 1016-2009.

Se aplicó la ingeniería de usabilidad de manera óptima en las áreas involucradas, debido a que permitió ver la usabilidad que tendrá la aplicación antes de haber programado una línea de código, ahorrando costos y errores de diseño en los diferentes módulos con los que contará la aplicación. De manera general, se llevó a cabo el proceso de seguimiento como se describe a continuación: Se especificaron las fechas con las distintas áreas involucradas, ya que de esta manera se tiene que detallar qué días se llevarán a cabo este tipo de reuniones en el transcurso de dos semanas. Después de haber especificado las fechas con el cliente, el analista

explicará las funciones y módulos de la aplicación. Por otra parte, se logrará obtener un resultado óptimo para el desarrollo de los bocetos y así verificar los objetivos planteados de la usabilidad de la aplicación. Una vez finalizadas las reuniones con el cliente, si no hay cambios se continúa con el proyecto de manera correcta. En el caso de que los bocetos tengan que modificarse, se cambiarán a las nuevas especificaciones que se describieron en la reunión. Una vez que los bocetos están diseñados de acuerdo con las necesidades del cliente se procede a su validación con los involucrados del proyecto.

A partir de lo anterior, se obtuvo una documentación apropiada para la presente investigación de acuerdo con la aplicación del estándar IEEE 1064-2001. Esta permitió aplicar las recomendaciones y procesos para el análisis, descripción de la información y diseño. Cabe mencionar que dicha documentación ayudará a documentar la aplicación de manera detallada, de modo que cuando la aplicación esté desarrollada se podrá elaborar el manual técnico y de usuario respetando las medidas que establece la norma.

Finalmente, se diseñaron los bocetos preliminares de acuerdo con las interfaces que podría tener la aplicación móvil para el control de la información en un futuro. Esto eficientizará las consultas de manera rápida para toda la comunidad estudiantil desde sus dispositivos.

## **Conclusiones**

El objetivo de este artículo fue analizar y diseñar una aplicación web mediante la metodología diamanté para la aplicación de entrevistas, la planificación estratégica de sistemas de la información, la aplicación de los estándares IEEE 830-1998, IEEE 1016-2009, IEEE 1061-2001 y la ingeniería de la usabilidad para obtener un resultado óptimo en el control y gestión de la información de las áreas involucradas.



Analizar los fundamentos teóricos de acuerdo con metodologías y normas permitió obtener una comparativa general de qué estándar era más viable para la presente investigación, dado que se analizaron las características y estructuras para determinar cuál era el más adecuado. La utilización de este tipo de normativas consistió en analizar la información recolectada de las distintas áreas involucradas, aplicando siempre la utilización de estándares de calidad para que la aplicación web permita eficientizar procesos, ya que aplicando este tipo de técnicas se obtiene un porcentaje mínimo de error humano, lo que ocasiona beneficios a corto y largo plazo en el proyecto que se pretende desarrollar.

El proceso que se siguió para el análisis y desarrollo de los diagramas de casos de uso tuvo como finalidad, en primer lugar, describir tareas y escenarios, además de proporcionar detalles específicos para describir el comportamiento que tendrá la aplicación web Query. Como resultado se obtuvieron requerimientos específicos en los cuales se detalló un nivel de prioridad para determinar los más importantes e indispensables para el cliente.

A partir de lo anterior se desarrollaron nuevos diagramas de flujo para las distintas áreas involucradas especificando un proceso adecuado que debe de seguir cada usuario. Esto permitirá tener un control adecuado y documentado para cualquier consulta que requieran hacer los involucrados de cada área, y así tener siempre en cuenta los procesos a detalle de cada actividad que se genere. Los requerimientos funcionales y no funcionales que se desarrollaron ayudarán de manera notable en la descripción de las especificaciones y necesidades que debe contener la aplicación web.

La planificación estratégica de sistemas fue la segunda etapa importante para el desarrollo de la presente investigación. Esta permitió ver las limitaciones y problemas con los que contaban las áreas. Además, ayudó a ver la magnitud del proyecto y los alcances que se podrían obtener implantando este tipo de técnicas.

## Referencias

- Corona, Ignacio, C, Paola, V., & Fructuoso Hernandez, J. (2015). Metodologías actuales de desarrollo de software. Revista Tecnología e Innovación. Obtenido de: [https://ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologia\\_e\\_innovacion/vol2num5/Tecnologia\\_e\\_Innovacion\\_Vol2\\_Num5\\_6.pdf](https://ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologia_e_innovacion/vol2num5/Tecnologia_e_Innovacion_Vol2_Num5_6.pdf)
- Cueva, S., & Sucunuta, M. (2014). Ingeniería de Requisitos Texto guía. Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica Sección Ingeniería del Software y Gestión de Tecnologías de la Información. Consultado el día 24 de Enero de 2020. Obtenido de: <https://docplayer.es/6451826-Ingenieria-de-requisitos-texto-guia-4-creditos.html>
- Freepik, (2020). Crea sin límites recursos gráficos para todos. Consultado el 03 de marzo de 2020. Obtenido de: <https://www.freepik.es/home>
- Hernández Sampieri, R. & Mendoza Torres P, C. (2018). Metodología de la investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill.
- IEEE. (2009). IEEE STD 1016-2009, IEEE Standard for Information Technology Systems Design Software Design Descriptions. Consultado el día 06 de Marzo de 2020. Recuperado de: <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2009.5167255>
- Mintic (2019). Planeación Estratégica de Tecnologías de la Información. Consultado el día 17 de abril de 2020. Obtenido de: [https://www.maximavelocidad.gov.co/647/articles-55469\\_recurso\\_8.pdf](https://www.maximavelocidad.gov.co/647/articles-55469_recurso_8.pdf)
- Robinson, G. S. (2010). IEEE Standards for Software User Documentation. Consultado el día 20 de Mayo de 2020. Recuperado de: <https://doi.org/10.1109/MM.1997.612164>
- Sommerville, I. (2017). Ingeniería de Software 9. Addison Wesley Pearson. Consultado el día 04 de Mayo de 2020. Tomado de: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2362.2005.01463.x>
- Sanchez, W. (2011). La usabilidad en la ingeniería de software definición y características. Consultado el día 18 de Marzo de 2020. Tomado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/47264961.pdf>

Trías, M., González, P., Fajardo, S., & Flores, L. (2011). Las 5 W + H y el ciclo de mejora en la gestión de procesos. Consultado el día 16 de Junio de 2020. Tomado de: <https://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTECH-Gestion/article/download/5/4/#:~:text=What%2C%20Why%2C%20When%2C%20Where,del%20proceso%20de%20auditor%C3%ADas%20internas>.

# DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

# LA TEORÍA CUÁNTICA DE LOS CAMPOS Y SUS APLICACIONES: LA FÍSICA DE PARTÍCULAS DE ALTAS ENERGÍAS

## QUANTUM FIELD THEORY AND ITS APPLICATIONS: HIGH ENERGY PHYSICS

Sebastián Rosado Navarro

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

sebastian.rosado@gmail.com

### **Introducción**

La humanidad tal vez ha dependido de la física más de lo que se imagina. La astronomía, una de las ramas del área, fue ampliamente usada por los humanos, incluso en la prehistoria, para poder guiarse en las noches y poder predecir las temporadas del año. Sin embargo, fue con la aparición de las civilizaciones que la física comienza a ser una disciplina académica. Los antiguos griegos la estudiaban como parte de la filosofía, la química y las matemáticas. Centurias tuvieron que pasar para que la física tomara su puesto como una ciencia única. Pero no debemos pensar que por única decimos que está excluida del resto de las áreas académicas: se vincula con otras áreas del conocimiento, desde el uso de conocimientos físicos para la creación de instrumentos para facilitarnos la vida, hasta, en ciertos casos, el uso de estos conocimientos para el entendimiento de distintos fenómenos.

Mas al hablar de las aplicaciones de la física, hay que hacer énfasis en la fidelidad a sus raíces en la filosofía, pues en muchas ocasiones son más motor de esta área

del conocimiento los misterios del universo, desde las escalas más ínfimas hasta las más gigantescas, siendo estas dos escalas inconcebibles para la imaginación humana. Aún así, hemos logrado abstraer un poco de todo lo que el universo es, llegando a entender lo que sucedió instantes después de que éste comenzara, y todo desde nuestro pequeño lugar en él. Hemos logrado entender cómo el espacio y el tiempo pueden deformarse, que la velocidad de la luz en el vacío es el límite en el universo, por qué la luz se curva en presencia de campos gravitacionales, que las estrellas mueren en explosiones gigantescas y violentas de las cuales surgen los materiales indispensables para que la vida sea posible... Y aún así quedan muchos misterios en el universo por esclarecer ¿Pero qué hay de aquello que es extremadamente pequeño?

Hay tantos misterios en lo que concierne a la materia a escalas cuánticas, que incluso necesitamos cambiar un poco la forma de ver la física a estas escalas. Y entre más nos adentramos al mundo subatómico, nuevas y más desconcertantes misterios aparecen. La realidad se nos escapa de las manos tanto a escalas astronómicamente grandes como a escalas subatómicamente pequeñas, sin embargo, la física sigue teniendo un papel muy importante en el estudio de la naturaleza y su predicción.

## **1. La antigüedad**

La física fue estudiada en todo el mundo antiguo, desde China hasta Grecia. Los pensadores griegos ya pensaban en cuatro elementos que conformaban lo que les rodeaba: agua, aire, fuego y tierra. En la Antigua Grecia se puede decir que todo comenzó con la desafiante actitud de Tales de Mileto (624–546 A.C.), quien se rehusó a aceptar explicaciones sobrenaturales, religiosas o mitológicas para dar cuenta de los fenómenos naturales. Él comenzó nuestro viaje hacia el entendimiento de la materia con su propuesta del primer principio (el arché): el agua. Su discípulo Anaximandro propuso el apeiron: lo “indefinido”, o “ilimitado”, infinito y sin forma

concreta. Anaxímenes de Mileto postuló que el aire era el primer principio, retando así a su maestro Anaximandro y a Tales.

Alrededor del año 500 A.C., Heráclito propuso que la única ley básica del universo es la del principio del cambio y que nada se mantendría igual para siempre. Esta idea sería una de las primeras en tomar en cuenta el rol del tiempo en el universo, lo cual sigue siendo clave en el estudio de la física al día de hoy.

La primera idea de atomismo griego llegó con Leucipo, también de Tebas, quien pensaba que todo está constituido por objetos indivisibles llamados “átomos” y que estos se desplazan por el espacio vacío. Su estudiante Demócrito agregó la idea de que estos “átomos” estaban en movimiento siempre y propuso un número infinito de tipos de átomos. Hay detalles interesantes en las ideas de los antiguos atomistas griegos. Por ejemplo, Demócrito, Leucipo y Epicuro creían que las características de los materiales dependían de la forma de sus átomos. Tal vez una de las ideas más fascinantes del atomismo griego fue la de Epicuro de Parékklisis, quien decía que los átomos podrían desviarse de los caminos que se esperaba que siguieran. De esta manera, Epicuro introdujo el concepto del libre albedrío en la hipótesis atomista sin dejar a un lado el determinismo. Los átomos podrían comportarse de una manera diferente a la que se espera. Esto es asombrosamente similar a lo que sucedió milenios después cuando se empezó a estudiar la mecánica cuántica.

No se debe olvidar que los indios podrían ser considerados los padres del atomismo: cuando el sabio Aruni, en el siglo VIII A.C., sentenció que hay partículas tan pequeñas que no es posible verlas como objetos de la experiencia y mucho menos cómo se amasan en sustancias. Muchas de las enseñanzas indias sobre el atomismo resultan muy similares a las de Demócrito, lo cual puede ser resultado de que las enseñanzas fueran transmitidas mediante el contacto cultural.

Aristóteles fue quien al final ejerció más influencia en la filosofía occidental y, siendo que él negaba las ideas atomistas, se aceptó su propuesta de que el universo

estaba compuesto por los cuatro elementos (agua, aire, fuego y tierra), más un elemento divino: el éter. Aunque Aristóteles estuvo equivocado al pensar que la materia no estaba compuesta de pequeños corpúsculos, su “tabla periódica” tiene el detalle interesante de coincidir con los estados de la materia que hoy conocemos: gaseoso, representado por el aire; líquido, representado por el agua; sólido, representado por la tierra; y plasma, representado por el fuego.

## **2. La Revolución Científica y la física clásica**

Lo que comenzó el ascenso de la física como una ciencia por sí misma es la muy famosa obra de Nicolás Copérnico Sobre los giros de los orbes celestes (*De revolutionibus orbium coelestium*), la cual estableció que la Tierra se mueve alrededor del Sol. Aunque ya en la antigüedad el modelo heliocéntrico había sido sugerido por Aristarco de Samos (310–230 A.C.), no tuvo el sustento que tuvo la obra de Copérnico, la cual hizo que fuera aceptado el modelo heliocéntrico. Estas nuevas ideas, así como las observaciones hechas por Tycho Brahe, permitieron que Johannes Kepler pudiera formular sus leyes para describir matemáticamente el movimiento de los planetas en sus órbitas, las cuales resultaban ser elípticas.

Galileo Galilei, con sus experimentos y propuestas contrarias a lo que establecía Aristóteles sobre el movimiento, pudo determinar que un objeto no caía más rápido si tenía una masa mayor, por lo que pudo calcular la trayectoria parabólica de los proyectiles y desarrollar el concepto de la relatividad galileana, la cual establece que todos los movimientos son iguales en todos los sistemas de referencia inerciales.

Más adelante, llegaría quien es considerado el más grandioso físico de todos los tiempos: Isaac Newton. No solamente formuló sus tres leyes del movimiento y la ley de gravedad universal, también inventó una nueva rama de las matemáticas: el cálculo, el cual fue también inventado de manera independiente por Gottfried Leibniz. El cálculo se convirtió en una herramienta indispensable para el desarrollo de la física.



Algo que muestra el paradigma de la física en esta época es el uso de las matemáticas y su consecuente desarrollo. Es mediante ellas que podemos expresar de manera precisa lo que sucede en la naturaleza. Gracias a las matemáticas, poderosa herramienta, se lograrían los mayores avances científicos.

### **3. La física moderna**

Viento en popa, la física avanzó de una manera increíble durante siglos. Tanto así que para finales del siglo XIX se comenzaba a pensar que la física estaba terminada, que sólo quedaba volver más precisas las mediciones de las constantes de la naturaleza. Pero la naturaleza resultó ser más compleja de lo que se pensaba y comenzaron a aparecer fenómenos que no podían ser explicados con la física desarrollada hasta el momento. Así, en el siglo XX comenzó una nueva forma de pensar los fenómenos de la naturaleza.

#### *3.1. La relatividad especial*

Una de las ideas más revolucionarias de la física moderna es la relatividad especial. Aunque el concepto no fue concebido por Albert Einstein, su contribución fue considerar la velocidad de la luz en el vacío como constante, es decir, que es la misma para todos los observadores inerciales y es el límite de velocidad en el universo. Estas ideas no afectan nuestra vida cotidiana, ya que sólo aplican para cuerpos que se mueven a velocidades muy altas y cercanas a la de la luz, mientras que los fenómenos cotidianos suceden a velocidades muy bajas en comparación. Esta teoría también tuvo una idea revolucionaria para el momento: la relación entre el espacio y el tiempo. Obviamente, no podemos olvidar una ecuación que nos dio la relatividad especial:  $E = mc^2$ . Ésta nos dio la relación entre la masa y la energía.

La relatividad especial es una teoría bien definida y en la cual no podemos contribuir nada nuevo. esto puede ser desalentador para algunas personas al estudiar física, pero está otra teoría que a la fecha sigue dando incógnitas: la relatividad general. Esta es la teoría que une a la relatividad especial con la gravedad. En esta se establecen fenómenos que nunca habrían imaginado los filósofos de la antigüedad, tales como que los cuerpos distorsionan el espacio y el tiempo a su alrededor causando de esta manera la gravedad, o bien, hipótesis tan descabelladas como las de los puentes de Einstein-Rosen, mejor conocidos como agujeros de gusano, que son distorsiones del espacio y el tiempo que nos permitirían viajar de un extremo del universo a otro en fracciones de segundo sin movernos más rápido que la luz.

### *3.2. La catástrofe ultravioleta: la mecánica cuántica*

Mientras la relatividad especial ayudaba a resolver conflictos de fenómenos electromagnéticos, aparecía un nuevo problema que la física no era capaz de explicar: la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro. La teoría predecía que en el espectro ultravioleta, a longitudes de onda más pequeñas la energía debía tender hacia el infinito, pero los experimentos mostraban que se aproximaba a cero. Esto fue conocido como “la catástrofe ultravioleta”, la cual sólo pudo ser resuelta con una nueva teoría: la mecánica cuántica. Esta teoría trata sobre las escalas atómica y subatómica. Difiere con la física clásica en que la energía, el momentum, el momentum angular y otras cantidades en un sistema están restringidas a valores discretos. Los cuerpos pueden tener comportamientos tanto de ondas como de partículas y hay límites a la precisión con la que una cantidad física puede ser predicha antes de ser medida, siendo ésta la propiedad probabilística de la mecánica cuántica. Max Planck introdujo los conceptos básicos de esta teoría en el año 1900. Los experimentos del efecto Compton, el efecto fotoeléctrico, el experimento de Millikan, el experimento de Stern-Gerlach, etcétera, dieron la razón a la mecánica cuántica.

Este tema nunca fue muy apreciado por Albert Einstein, a pesar de que él contribuyó con la explicación teórica del efecto fotoeléctrico. En efecto, el carácter probabilístico de esta teoría no fue muy apreciado por muchos de los grandes físicos, teniendo como emblema de esta corriente una frase famosa de Einstein: “Dios no juega a los dados”. La respuesta de Erwin Schrödinger a esa frase fue: “Señor Einstein, no le diga a dios qué hacer con sus dados”.

#### **4. La mecánica cuántica relativista**

Es famosa una idea, parcialmente incorrecta: que la relatividad y la mecánica cuántica están peleadas. Efectivamente, hay un problema al intentar unificar la relatividad general con la mecánica cuántica, pero como se dijo anteriormente, la teoría de la relatividad especial está muy bien comprobada y puede ser usada para definir si una teoría es válida o no. La mecánica cuántica debía sobrevivir a las pruebas que le impusiera la relatividad especial. Esta transición de la descripción no relativista a la relativista implica que varios conceptos deben ser revisados. En particular, los siguientes:

1. Las coordenadas espaciales y temporales deben ser tratadas como iguales.
2. Una partícula relativista no puede ser localizada con gran precisión, ya que si la energía es muy alta, entonces sucede una creación de pares partícula-antipartícula.
3. Si la posición de una partícula es indefinida, también lo será su tiempo.
4. Con energías altas (relativistas) ocurren procesos de creación y aniquilación de pares de partículas, usualmente en forma de la creación de pares partícula-antipartícula. Por lo tanto, con las energías relativistas, la conservación de número de partícula ya no es una suposición válida.

El primer intento de conciliar ambas teorías fue la ecuación de Klein-Gordon. Al desarrollar su idea se toparon con densidades de probabilidad negativas y

energías negativas, las cuales no suceden en física clásica, en la relatividad especial ni en la mecánica cuántica. Por mucho tiempo, esta ingeniosa ecuación fue vista como sinsentido físico, una curiosidad matemática. Pero los científicos somos perseverantes, o necios, y llegó Paul Adrien Maurice Dirac en 1928, con su ecuación para describir las partículas relativistas y todo pareció ser correcto. Sin embargo, se obtuvieron nuevamente energías negativas. Dirac propuso entonces que esas energías eran antimateria. Esta revolucionaria idea —y tal vez descabellada para muchos en su momento— fue comprobada experimentalmente en 1932 por Carl David Anderson. Así comenzó la física de altas energías.

## **5. La teoría cuántica de los campos y el modelo estándar de las partículas**

Justo cuando se podría pensar que la física moderna se volvía extraña, se propuso la cuantización de campos en la mecánica cuántica relativista, teniendo así la teoría cuántica de los campos a través de interacciones mediadas por partículas virtuales, las cuales pueden existir de acuerdo a las leyes que gobiernan las incertidumbres asociadas a la teoría cuántica.

El modelo estándar de las partículas elementales es una teoría cuántica que describe las interacciones de las partículas que componen toda la materia. Estas interacciones pueden suceder mediante tres fuerzas: la eléctrica, la débil (las cuales pueden unificarse como interacciones electrodébiles) y la fuerte. La fuerza débil es la fuerza que permite que las partículas decaigan y la fuerza fuerte es la que hace que las partículas que constituyen a los protones —los quarks— se mantengan unidas. La unificación de las fuerza débil y eléctrica es formulada por Abdus Salam, Steven Weinberg y Sheldon Glashow. Su teoría fue comprobada en el experimento Gargamelle (una cámara de burbujas) en la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN por sus siglas en francés).

El modelo estándar también describe cuáles son las partículas y los mediadores de las interacciones y hasta ahora, ha probado ser un modelo consistente y altamente predictivo. La última partícula que faltaba era el bosón de Higgs, la partícula resultante por la ruptura del campo de Higgs, el cual es el responsable de darle masa a las partículas fundamentales.

No obstante, aun cuando ha sido descubierta, tenemos incógnitas acerca del modelo; demasiadas cantidades son definidas “a mano”, a lo que se conoce parámetros libres. Una buena teoría tiene pocos de parámetros libres, pues cuando estos son definidos “a mano”, no sabemos por qué son como son. Esto es buenas noticias para los físicos, ya que significa que todavía quedan dudas por resolver y, de hecho, abundan diversos modelos para explicar estas incógnitas, pero tienen que superar las evidencias experimentales.

## **6. ¿Y esto de qué nos sirve?**

Obviamente nace la pregunta sobre la aplicación de estos conocimientos, más allá de que sea parte intrínseca de la humanidad el tratar de entender lo que nos rodea y, de esta manera, entender qué somos e incluso cuál es nuestro origen.

Aunque parecen ideas lejanas o ficticias, las teorías de la física tienen una aplicación en la actualidad y aquellas que no lo tienen todavía, posiblemente lo tendrán en el futuro, a corto plazo. El mejor ejemplo es la tomografía por emisión de positrones (PET por sus siglas en inglés), que hace uso de los decaimientos en los núcleos de neutrones inestables para producir pares de partícula-antipartícula para que, con los detectores adecuados, se pueda realizar la medición en tiempo real de, por poner algún ejemplo, el cerebro. Tenemos también la hadroterapia, que sería una terapia muy buena contra el cáncer, la cual consistiría en usar partículas altamente energéticas para “bombardear” un tumor cancerígeno sin afectar tejidos adyacentes, a diferencia

de la radioterapia que es muy agresiva. Con un mejor entendimiento de las partículas fundamentales podríamos mejorar estos métodos médicos.

Otros avances interesantes que pueden asociarse a la física de altas energías no son directos. Un ejemplo sería la web, conocida por casi todo el mundo, que fue desarrollada en el CERN para poder compartir datos de manera más eficiente. Otro ejemplo serían los sistemas de enfriamiento del Gran Acelerador de Hadrones (LHC por sus siglas en inglés), que es el punto más frío del universo al necesitar de una temperatura de 1.9 K (-271.25°C) para el funcionamiento de sus tubos superconductores, mientras que la temperatura del espacio es de 3 K (-270°C). De igual modo, debido a las herramientas computacionales y estadísticas que se necesitan para estudiar los experimentos de altas energías, muchos egresados que hicieron sus posgrados en proyectos ligados directamente al CERN son contratados por instituciones bancarias para realizar cálculos económicos, otra posible aplicación de los avances desarrollados en la física.

## **Conclusión**

La física de altas energías y la relatividad general son por ahora las ramas de la física que están en la frontera de lo conocido y lo desconocido. Tenemos un camino largo por recorrer para poder entender el universo que nos rodea en sus diversas escalas, pero la humanidad ha demostrado con su perseverancia que siempre estará persiguiendo el entendimiento de la naturaleza. Es muy probable que los físicos actuales no lleguen a ver una “teoría del todo” que unifique a la teoría de la relatividad general con la teoría cuántica de los campos, pero de igual manera, muchos antes que nosotros no pudieron ver los grandiosos descubrimientos que se han logrado en años recientes. En todo caso la física, como cualquier área de la ciencia, es un trabajo colaborativo que lleva milenios de desarrollo y se basa en los estudios de nuestros colegas del pasado para intentar avanzar en el conocimiento humano. Citando a Isaac Newton: “yo sólo ando sobre hombros de gigantes”.

# ¿CÓMO ESTUDIAR CRIATURAS FANTÁSTICAS?

## HOW TO STUDY FANTASTIC CREATURES?

Everardo Rafael Tendilla Beltrán

Universidad del Valle de Puebla

coord.investigacion@uvp.mx

Sí, estás leyendo bien, vamos a estudiar criaturas fantásticas científicamente y no soy un charlatán o un gurú metafísico, ni tampoco vengo a promocionar la continuación de la película de una famosa serie literaria. Realmente te presentaré las características de unos fenómenos físicos que adoptaron el nombre de seres fantásticos. Comenzaremos con un poco de historia.

En 1903, Orville Wright se convirtió en el primer hombre en volar una máquina más pesada que el aire, comenzando así la historia de la aviación moderna. La tecnología fue mejorando y para el inicio de la Primera Guerra Mundial los aviones fueron una de las tecnologías militares que marcaron diferencia durante el transcurso del conflicto bélico.

Los pilotos de estos primitivos aviones comenzaron a reportar la aparición de extraños destellos de luz encima de las nubes, que tenían una corta duración y ningún motivo aparente. En esa época lo tomaron como ilusiones ópticas causadas por el cansancio o el estrés al que estaban sometidos, o como efecto de armamento disparado desde tierra en los campos de batalla.

Este tipo de comentarios eran tomados como anécdotas curiosas. Algunos, tratando de darle credibilidad a su observación, afirmaban que estos destellos aparecían encima de las nubes de tormenta, pero que no eran rayos y los describían como unos chorros de luz.

Paso el tiempo y la aviación se volvió una actividad comercial. Los pilotos de estas aeronaves también reportaban destellos luminosos que aparecían en la parte alta de las nubes, pero al igual que en la época de los inicios de la aviación todo se quedaba en anécdotas o se escuchaban como curiosidades de los vuelos que realizaban.

Avanzaremos en la línea del tiempo hasta el año de 1989, cuando un grupo de estudiantes, al probar una cámara de vídeo de alta velocidad, apuntaron hacia unas montañas que bordean la ciudad de Minnesota en Estados Unidos, tratando de grabar la secuencia de la puesta de sol. Dejaron la cámara grabando durante toda una noche y unas semanas después revisaron la grabación que obtuvieron.

En esta grabación, además de la puesta de sol, captaron el desarrollo de una tormenta eléctrica y gracias a la distancia que existía desde el punto donde estaba ubicada la cámara hasta las nubes donde sucedió la tormenta, se podía observar la parte superior de las mismas. Se pusieron a revisar fotograma por fotograma captado, ya que su principal interés era comprobar la calibración de la cámara. Durante la revisión encontraron algo especial.

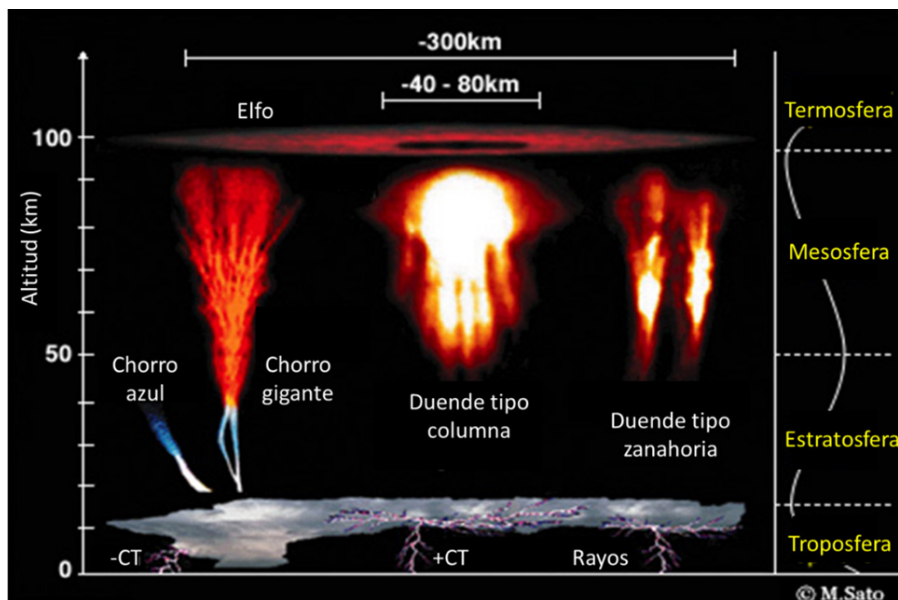
Encontraron que arriba de las nubes de tormenta aparecía un destello rojo con una duración de unos pocos milisegundos. Surgía sin una causa aparente y desaparecía sin dejar rastro. Lo llamaron Evento Transitorio Luminoso (TLE por sus siglas en inglés: Transient Luminous Event). Fue entonces que surgió un nuevo fenómeno atmosférico que estudiar y comenzó la aventura de describirlo.



## Los duendes

Al fenómeno captado en 1989 se le denominó duende (en inglés, *sprite*). Tienen un color característico rojo y pueden aparecer en forma de zanahoria o de medusa, como se muestra en la Figura 1. Es difícil observarlos con el ojo humano ya que su duración ronda entre los cuatro y los diez milisegundos. Un milisegundo es la milésima parte de un segundo, un uno dividido entre 1000, un lapso de tiempo bastante corto.

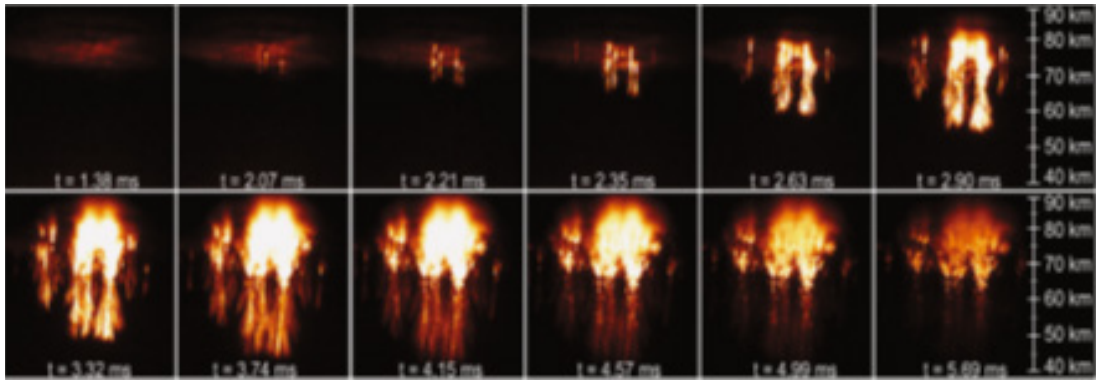
Figura 1



Tipos de duendes. Recuperado de Sato et. al., 2008.

Los duendes comienzan a formarse a una altitud de entre 75 a 80 kilómetros sobre el nivel del mar. Al desarrollarse completamente, su parte más alta llega a los 90 km de altitud, mientras su parte inferior puede descender hasta los 50, por lo que el fenómeno desarrollado completamente puede llegar a medir 40 km de largo.

Figura 2



Desarrollo temporal de un duende. Recuperado de Pasko et. al., 2011.

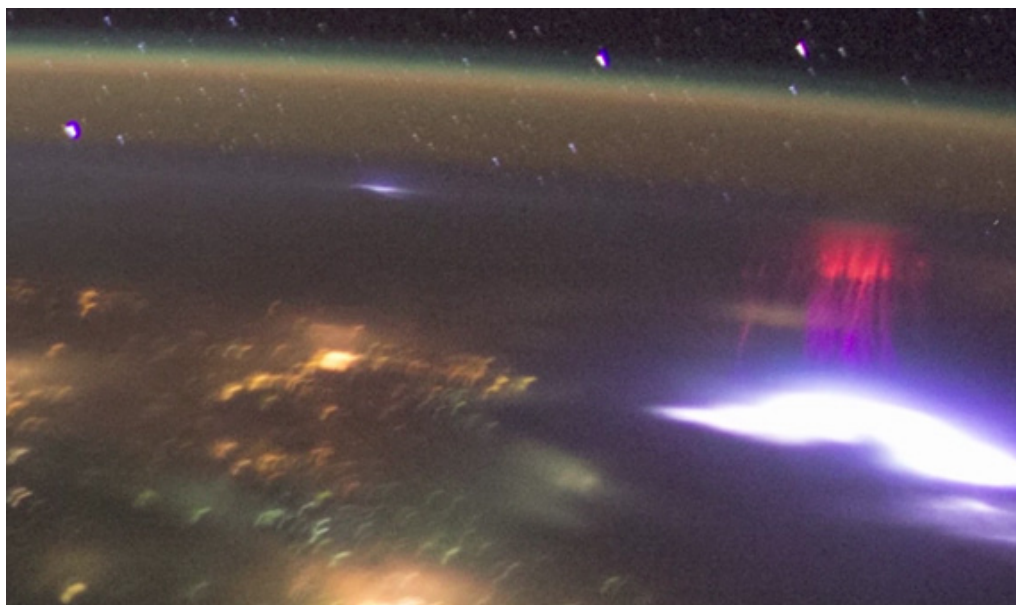
Con estos datos se ha obtenido que la velocidad con que se desarrolla ronda los 10 000 km/s (kilómetros por segundo). Es una velocidad grande tomando en cuenta que la velocidad de la luz es de 300 000 km/s. Comparando estos valores, se infiere que en el fenómeno se mueve con una masa superior a la de los fotones, que son las partículas que conforman la luz, lo cual nos deja un nuevo enigma por resolver.

Con las observaciones realizadas por diversos experimentos dedicados a estudiar a los duendes, se ha obtenido que ocurren en promedio cuatro eventos por minuto alrededor del planeta, lo que indica que no son eventos esporádicos. Además, cada evento deposita en promedio 22 MJ (Mega Joules) de energía a la atmósfera, una cantidad enorme considerando que, en comparación, México como país consumió 0.292 MJ de energía por milisegundo en el 2018.

Uno de los principales intereses de los científicos es saber de dónde proviene esta cantidad enorme de energía debido a que, si se desarrollara una tecnología para capturarla, obtendríamos una fuente de energía alternativa con un potencial interesante.

Las observaciones de los duendes, en su mayor parte, han sido con instrumentos de medición montados en satélites y en la Estación Espacial Internacional (EEI), debido a que observar por encima de las nubes desde tierra es muy complicado.

Figura 3



Duende observado desde la EEI. Recuperado de Imster et. al., 2017.

### Los Elfos

En una observación realizada por una cámara montada en la EEI, se descubrió el segundo de los TLE. En 1992 se observó un fenómeno de corta duración con forma de una dona que aparecía espontáneamente en la atmósfera alta. Para continuar con los nombres de criaturas fantásticas, a este fenómeno se lo llamo elfos (en inglés, *elves*).

Este nombre tiene una historia curiosa ya que el nombre de elfo realmente nació del acrónimo de la descripción del fenómeno en lengua inglesa. En español se le llama emisión de luz y perturbaciones atmosféricas de baja frecuencia debidas a pulsos electromagnéticos, pero en inglés se le llama *emission of light and very low*

*frequency perturbations due to electromagnetic pulse sources*. Desde luego, es un nombre muy largo, por lo que en inglés se adoptaron las siglas ELVES, elfos.

Figura 4



Elfo capturado en una provincia italiana. Recuperado de Zanotti, 2011.

La teoría más aceptada del origen de los elfos dice que son un fenómeno electromagnético que surge de la búsqueda de equilibrio de carga eléctrica en la atmósfera alta. Estos fenómenos ocurren a una altitud de 90 km sobre el nivel del mar. En ocasiones se han observado acompañando a duendes, pero no siempre aparecen juntos.

Su duración va de 0.5 a 1 milisegundo, un destello realmente. La dona en su diámetro exterior puede llegar a medir 300 km. Son unos eventos enormes. El espesor de la dona formada no se ha medido, pero se observado que es delgada, como una oblea a la que le recortamos un círculo en el centro.

Con las mediciones que se han realizado de esta clase de TLE, se ha determinado que en promedio suceden 72 eventos por minuto en la atmósfera terrestre, dato que ha impresionado a la comunidad científica por la frecuencia con la que ocurren. El promedio de energía que depositan a la atmósfera es de 19 MJ.

Aunque las energías de los duendes y los elfos son prácticamente iguales, con estos últimos hay menos esperanzas de poderlos aprovechar, en primer lugar, por la altitud a la que se desarrollan y, en segundo lugar, por la corta duración del evento.

### **Otros tipos de TLE**

Los duendes y elfos son los TLE más estudiados y de los que conocemos un mayor número de características, sin embargo, no son los únicos. Existe otra categoría de esta clase de fenómenos que ya no adoptaron el nombre de ninguna criatura fantástica. Son llamados chorros azules (en inglés, *blue jets*).

Los chorros azules son columnas de luz color azul que emergen de la parte superior de las nubes de tormenta eléctrica. Se descubrieron en observaciones de nubes de tormenta en el año de 1994. Los chorros azules comienzan a formarse sobre las nubes de tormenta eléctrica, que ronda los 10 a 20 km de altitud y llegan a alcanzar los 50 km sobre el nivel del mar.

Se ha observado una variante del chorro azul denominada comienzo azul. Presentan la misma tonalidad azulosa de los chorros azules solo que no alcanzan altitudes superiores a 25 km, por lo cual se le llama “comienzo”, ya que se cree que es un chorro azul que no alcanza a desarrollarse completamente. Otra variante es el chorro azul gigante, eventos con características de chorro azul pero que llegan a alcanzar los 80 km de altitud en su desarrollo, característica que los hace muy parecidos a los duendes, pero de color distinto.

Los chorros azules forzosamente requieren de nubes de tormenta eléctrica para poderse formar, requisito que ni los duendes ni los elfos necesitan, por lo que se cree que el origen de los chorros azules es muy distinto del resto de los TLE.

Figura 5



Chorro azul surgiendo de la parte superior de nubes de tormenta.  
Recuperado de Wescott et. al., 2001.

Esta clase de fenómenos estaban escondidos en la atmósfera alta esperando ser descubiertos. Tal como describen las leyendas a las criaturas fantásticas, también son muy elusivos de observar, pero gracias a la tecnología, la curiosidad y un poco de suerte, descubrimos una nueva clase de fenómenos eléctricos intrigantes e interesantes que nos ayudaran a entender mejor cómo funciona nuestra atmósfera y, tal vez un día, los utilicemos como fuente de energía.

## Referencias

National Aeronautics and Space Administration (2015). Red Sprites above the U.S. and Central America. Gateway to Astronaut Photography of Earth. <https://eol.jsc.nasa.gov/Collections/EarthObservatory/articles/RedSprites.htm>

- Pasko, V.P., Yair, Y., Kuo, C.L. (2012). Lightning related transient luminous events at high altitude in the Earth's atmosphere: Phenomenology, Mechanisms and Effects. *Space Science Reviews*, 168, 475–516. <https://doi.org/10.1007/s11214-011-9813-9>
- Sato, M., Takahashi, Y., Watanabe, S., Ushio, T. PI, Morimoto, T., Kawasaki, Z-I., Suzuki, M., Takashima, T., Ohya, H., Nakata, H., Odo, K., Hiraki, Y., Adachi, T., y Hobara, Y. (2008). JEM-GLIMS Mission, Coupling of Thunderstorms and Lightning Discharges to Near-Earth Space. <http://www.oma.be/TLE2008Workshop/>
- Wescott, E.M., Sentman, D.D., Stenbaek-Nielsen, H.C., Huet, P., Heavner, M.J., Moudry, D.R. (2001). New evidence for the brightness and ionization of blue starters and blue jets. *Journal of Geophysical Research*, 106, 21549. <https://doi.org/10.1029/2000JA000429>
- Zanotti, F.. (2011). Elfo da Ferrara verso la Svizzera 20110530. Italian Meteor and TLE Network. <https://meteore.forumattivo.com/t1845-elfo-da-ferrara-verso-la-svizzera-20110530>



**UVP**

UNIVERSIDAD  
DEL VALLE DE PUEBLA

3 Sur 5759 Col. El Cerrito C.P. 72440, Puebla, Pue.

**Yo lo hago realidad**

 | [www.uvp.mx](http://www.uvp.mx) | [#YolohagoUVP](https://twitter.com/YolohagoUVP)