



COMUNICACIONES ÓPTICAS Optics Communications

By: Crisman Martinez B.
Santo Tomás University
Ustadistancia

Resumen

Este artículo describe en una primera parte la historia de las comunicaciones ópticas, en segundo lugar el concepto de luz, en la tercera parte encontramos el láser que es una emisión estimulada de la Luz, posteriormente encontramos el sistema general de comunicaciones ópticas, además se incorporó la temática de comunicaciones cuánticas y finalmente encontramos el primer protocolo de intercambio de claves utilizando comunicaciones este tipo de comunicaciones.

Abstract

This article describes in the first part the history of optical communications, in the second part the concept of light, the third part find the laser which is a stimulated emission of light, the fourth part find the quantum theory and finally the BB84 protocol, this is a protocol for security communications quantum.

Palabras clave: Comunicaciones ópticas, luz láser, teoría cuántica, seguridad cuántica, protocolo BB84, fotón.

Keywords: Optics communications, light laser, quantum theory, security quantum, BB84 protocol, photon.



Historia de las Comunicaciones ópticas

Los primeros sistemas de comunicaciones ópticas datan del siglo XIII antes de cristo, se relacionan con la guerra de Troya, en esta época se comunicó la caída del imperio Troyano con la señal de una antorcha visible encendida. Los soldados ubicados en fuertes lejanos mostraban la antorcha entre fuertes distantes pero visibles. Estos fuertes eran visibles hasta llegar a Atenas; el mensaje previamente acordado y que fue transmitido cuando se encendieran las antorchas fue “Troya ha sido derrocada”.

En el año 200 antes de Cristo, el historiador universal Polibio Magalópolis desarrollo el sistema de comunicaciones abierto, este consistía en dos nodos: El transmisor tenía dos elementos tipo matriz y su mensaje se transmitía intercambiando las antorchas en cada matriz para indicar la posición fila y columna que relacionaba una letra al receptor quien observaba las antorchas con un telescopio. Este sistema alcanzó una velocidad para que un humano escribiera hasta 8 letras por minuto.

En Francia, los hermanos Chappe (Abraham, Ignace, Pierre y René), los primos Léon Delauney y Prosper Delauney junto con el relojero Abraham Louis Breguet en 1792 desarrollaron el telégrafo óptico guiado, este consistía en un mástil que soportaba 196 posiciones angulares que se relacionaban con codificación cifrada a un alfabeto y que era observable a una distancia aproximada de 14 km., para ello fue necesario instalar varios mástiles repetidores por la zona, de tal forma que cubriera las ciudades francesas de París y Lille; este sistema alcanzo una velocidad de transmisión de 4 caracteres por minuto, sistema que lo reemplazado el telégrafo eléctrico en el año 1880.

En Suecia alrededor del año 1794 Abraham Niclas Edelcrantz construyo una línea telegrafía óptica entre el palacio Real y el Palacio de verano distantes aproximadamente en 7 km., este sistema se configuro con tres brazos horizontales uno debajo de otro y con diez cortinas ajustables que se abren y se cierran para componer hasta un total de 1024 símbolos que eran observables por el receptor con binóculos, alcanzo una velocidad de hasta 12 caracteres por minuto, este sistema lo describe Edelcrantz en 1796 en el primer tratado de ingeniería en telegrafía.



Alrededor del año 1797 Agustín Betancourt y Abraham Louis Breguet, observaron la expansión del telégrafo, por ello estos inventores implementaron el primero en España, sistema que adoptaba 36 posiciones circulares, cada una a 10°C a modo de reloj. En el año 1844 aparece el telégrafo de José Marida Mathe dispositivo que se encendía y se apagaba tomando 12 diferentes posiciones, de las cuales 10 correspondían a los números y dos correspondían a funciones con la letra “x” (repetición) y con la letra “m” (anular). Otra función era la de ocultar el indicador de la vista, empleada para separar dos símbolos, al sistema lo acompañaba un diccionario de 97 folios, cada uno con 4 páginas (rotuladas a, b, c, d), cada página tenía una matriz de 50 filas por 5 columnas, lo que daba un total de 97.000 símbolos, al momento de recibir la comunicación se requerían 6 símbolos, de los cuales dos símbolos indicaban el folio, el otro la letra (página) y dos símbolos para la fila y el último símbolo para la columna.

Posterior, Alexander Graham Bell en 1880 construyó el fonógrafo (base de la comunicación li-fi light fidelity), este sistema permitía la transmisión del sonido usando rayos de luz sin usar cables con un alcance de 200 metros, esta transmisión convertía la voz en luz, dicha luz era proyectada usando un espejo, del lado del receptor se recibía la señal de luz con ángulos distintos, ahí se utilizaba un sensor de selenio, este sensor convertía la luz en un voltaje diferente.

En el año 1900 el físico Max Karl Ernst Ludwig Planck define la constante de Planck ($h=6.626 \times 10^{-34}$ joules x segundo) que se utiliza en óptica para medir la proporción entre la cantidad de energía y la frecuencia de un fotón, teoría que actualmente soporta la cuántica moderna. En el año 1917, Albert Einstein publicó la teoría sobre la emisión estimulada, estudio que consiste en forzar al átomo a liberar energía cuando es iluminado con una partícula de luz del mismo color (misma longitud de onda que emite el átomo), esto estimula al átomo para que devuelva luz (misma longitud de onda), dicha luz se proyecta en un espejo, quien actuaba como multiplicador y así generar más energía, la suficiente como para generar la salida del fotón por uno de los espejos (el fotón lo atravesaba), este estudio soporta en el año 1960 la invención del láser (Light amplification by stimulated emission of radiation). En el año 1930, John Logie Baird y Clarence Hansell quienes patentaron el sistema para transmitir imágenes de televisión por fibra óptica, esto soportó en el año 1950 los grandes avances tecnológicos en el campo de la óptica.

En el año 1966 los investigadores Charles Kao y George Hockham demostraron la transmisión de mensajes telefónicos al utilizar fibras



transparentes, estas fibras óptica generaban una pérdida alta de la energía que estaba alrededor de 100 dB por km. Cuatro años después los científicos Robert Maurer, Peter Schultz y Donal Keckla fabricaron fibras ópticas de alta calidad y con muy baja perdida de energía, así se masifico el uso de la fibra óptica para los años venideros.

El Concepto de Luz

Según Albert Einstein [1], la luz se propaga no solo en ondas, sino también en diminutos paquetes, llamados cuantos de luz, a los que años después se denominarían fotones, Sirlin en [2] se explica la naturaleza de la luz, según Einstein, la cual es “La energía de una haz de luz se propaga desde una fuente puntual no se distribuye de forma continua en un espacio creciente. Sino que consiste en un número finito de cuantos de energía localizados en los puntos del espacio, que se mueven sin dividirse y que solo se pueden producir y absorber como unidades completas”. Sirlin en [2], menciona que Einstein cuenta la experiencia de la luz como, “... una paradoja de la que me di cuenta a los dieciséis años si persiguiera a un rayo de luz a la velocidad de la luz en el vacío c , debería percibirlo como un campo electromagnético en reposo, aunque oscilante en el espacio. Sin embargo no parece que existiera nada así; ni se ha detectado experimentalmente ni viene descrito por las ecuaciones de Maxwell. Siempre me pareció intuitivamente claro que, desde el punto de vista de un observador como ése, todo debería suceder con arreglo a las mismas leyes que rigen para otro que se encuentra en reposo relativo con respecto a la Tierra, porque, ¿cómo podría el primer observador determinar que se encuentra en un rápido movimiento uniforme?” Es posible ver que en esta paradoja se encuentra ya el germen de la relatividad especial.” Según Sirlin, la Luz es: “Una forma de radiación electromagnética, llamada energía radiante, capaz de excitar la retina del ojo humano y producir en consecuencia, una sensación visual” y profundiza diciendo “La energía radiante fluye en forma de ondas en cualquier medio en una dirección determinada (propagación rectilínea y sólo es perceptible cuando interactúa con la materia, que permite su absorción o su reflejo. Hay entonces un cuerpo a otro que se denomina radiación. Físicamente la luz se puede asociar entre sí como una onda electromagnética y como un corpúsculo o partícula”.

Elena G. [3] define la Luz, como “Forma de energía electromagnética que se encuentra en la naturaleza. Al tener una longitud de onda muy corta, sus unidades de medida deben ser especiales, siendo la más frecuente el Ångstrom (Å) que es la diez millonésima parte de un milímetro.”, otra definición de



[3] de la luz es “Una energía radiante, es una forma de radiación electromagnética similar al calor radiante, las ondas de radio o rayos X, se pueden propagar tanto en el vacío como en medios materiales, su velocidad de propagación es de 300.000 km por segundo en el vacío, aunque esta velocidad disminuye, en función de la densidad del medio en el que se está realizando la propagación.”, y finalmente [3] menciona en su definición que “La luz corresponde a oscilaciones extremadamente rápidas en un campo electromagnético, en un rango determinado de frecuencias que pueden ser detectadas por el ojo humano. Las diferentes frecuencias van desde aproximadamente 4×10^{14} vibraciones por segundo en la luz roja hasta aproximadamente 7.5×10^{14} vibraciones por segundo en la luz violeta”.

Según Barbero [4]: “La luz es un fenómeno físico. De manera cotidiana jugamos con ella iluminando, creando sombras o manipulándola de multitud de formas mediante instrumentos ópticos, algunos de ellos de exquisita precisión. Preguntarse por su esencia en el contexto de la física significa intentar comprender cuáles son los atributos que la caracterizan, sus propiedades, cómo podemos actuar sobre ella como interacciona con la materia. El hecho de que la indagación sobre la naturaleza de la luz nos haya abierto la puerta al conocimiento físico del espacio y del tiempo, y mostrado el camino hacia el mundo cuántico, es uno de los legados más sorprendentes de la ciencia del siglo XX y la aportación fundamental de uno de los pensadores más influyentes de todos los tiempos: Albert Einstein”

El láser, Emisión Estimulada de la Luz

Cuando un átomo dentro de dos espejos es excitado por una fuente de energía, él átomo se excita; al excitarse el átomo este genera nuevas ondas con la misma longitud de onda del átomo original, cuando choca el átomo, este duplica la onda por el efecto que tiene el espejo. Cuando se alcance un cierto nivel de energía con cierto número de ondas, la luz se proyecta por una apertura (orificio) que tiene uno de los dos espejos, a este proceso se le llama emisión estimulada. El fotón a quien Albert Einstein llamo “cuanto de luz” es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, este fotón tiene masa cero que viaja en el vacío a la velocidad de la luz. La luz se comporta como onda y como partícula. Estas partículas pueden depositar (entregar) cierta cantidad de energía (exacta), entonces los foto detectores detectan la totalidad de la energía del fotón cuando hay presente un fotón. Lo que quiere decir es que siempre va a ser discreta la detección (si se detecta el fotón ó no se detecta el fotón).



El proceso de detección de energía del fotón se llama mecánica cuántica, debido a que se detecta valores de energía discreta. Como ejemplo de la representación del fotón, él tiene 7 unidades de energía, el foto detector (dispositivo que absorbe la energía de la luz) detecta las 7 unidades de energía o el foto detector no detecta energía si no hay presencia de luz. La energía del fotón se mide con ($E = h \cdot f$). Entonces la h es la constante de Planck y f es la frecuencia, con ello tenemos la capacidad de calcular la energía de un rayo x cuya frecuencia está en $7E-20\text{hz}$.

Ahora, podemos calcular la energía de los rayo x, su frecuencia está en $7E-20 \text{ hz}$.

$$E = (6.626 \cdot 10E-34 \text{ joules} \cdot \text{segundo}) \cdot (7E-20 \text{ hz}); \quad (\text{hz} = 1 / \text{segundo})$$

Anulamos la unidad de media de tiempo. Y quedaría así.

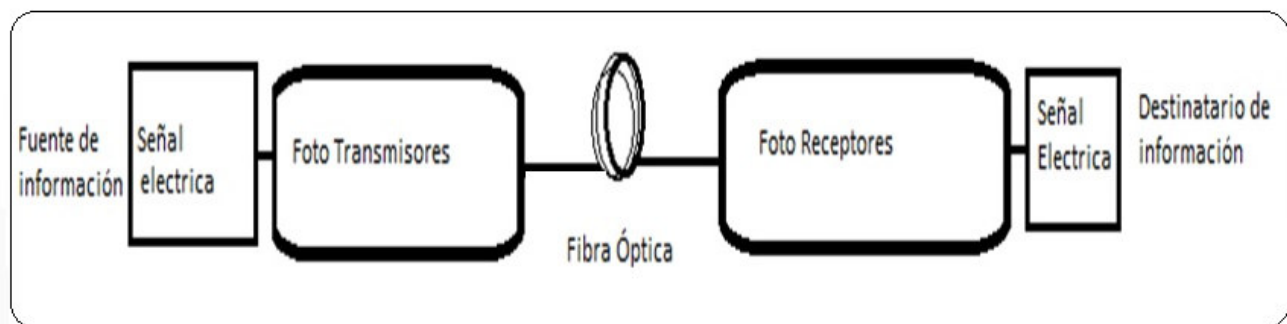
$$E = 6.626E-34 \text{ joules} \cdot 7E-20$$

$$E = 4.6382E-53 \text{ joules}$$

Para este caso, el rayo x tiene energía igual a $4.6382E-53 \text{ joules}$.

Sistema General de Comunicaciones Ópticas

El sistema general de comunicaciones muestra los componentes generales de un sistema de transmisiones ópticas (Ver Figura N° 1).



Fuente: Construcción propia.

Figura N°1. Diagrama de Bloques del Sistema General de Comunicaciones Ópticas



Este sistema está conformado por: i) Fuente de información: Señal de información, su origen puede ser un humano, máquina o un robot. ii) Señal eléctrica: Señal que representa la información en un formato específico representada en energía. iii) Foto Transmisor: Es un dispositivo que irradia señales ópticas utilizando un láser. Dispositivo que convierte la señal eléctrica de entrada y le da una correspondencia en señales ópticas. iv) Fibra óptica: Elemento que guía la luz (fotón) a larga distancia. v) Foto detector: Es un dispositivo que detecta señales ópticas, convierte la señal de luz en secuencia de energía eléctrica que tiene su correspondencia con la señal óptica de entrada. vi) Destinatario de la información: Señal de información, su destinatario puede ser un humano, máquina o un robot.

En este sistema de comunicaciones ópticas se utilizan diferentes procesos para transformar la información para cada uno de los componentes que conforman el diagrama de bloques, entre ellos se encuentran los protocolos de transferencia de información.

Conceptualización Cuántica

Los bits responden a la física clásica, los qubits responden a la física cuántica, las diferencias se presentan en la siguiente tabla:

Computación Clásica	Computación Cuántica
Unidad mínima un bit.	Unidad mínima es un qubit (quantum bit).
Almacenamiento en secuencias de ceros y unos.	
Objeto tiene un estado en el mismo tiempo.	Objeto en un único estado en el mismo tiempo.
Estados posibles 0 y 1 en diferente tiempo.	Puede adoptar estados 0 y 1 en forma simultánea.
N.A.	Entrelazado cuántico, le permite a los átomos afectarse entre si, aunque estén separados por amplias distancias.
Se utiliza superconductores de silicio.	Átomos naturales, hay que utilizar trampas de iones.
N.A.	Átomos artificiales, hay que enfriarlos (-273.15°C). La corriente circula en un



	sentido en el sentido del reloj representa un 0, al contrario representa un 1. También pueden existir en superposición.
Ejemplo: Al lanzar una piedra, la piedra tiene un único camino para llegar a su destino.	Ejemplo: Al lanzar una piedra (electrón) recorre muchos caminos en forma simultánea para llegar a su destino.
Existen técnicas para analizar y detectar errores.	Al mirar un qubit (observarlo) cambia de estado.
N.A.	Mantiene la coherencia (fase) durante un periodo de tiempo. capacidad de una partícula para existir simultáneamente en varios estados distintos como: la posición, la energía o el espín

Fuente: Construcción Propia
 Tabla N° 1. Comparativo bits y qbits.

A continuación se muestra la representación gráfica de bits y qubits (Ver tabla N° 2).

Computación Clásica	Computación Cuántica

Tabla N° 2. Representación gráfica bits y qubits.
 Fuente: construcción propia.

Desde el punto de vista vectorial, la siguiente es la representación de un qbit: $[\alpha \ \beta]$, α y β son números complejos y cumplen que $(|\alpha|^2 + |\beta|^2) = 1$.

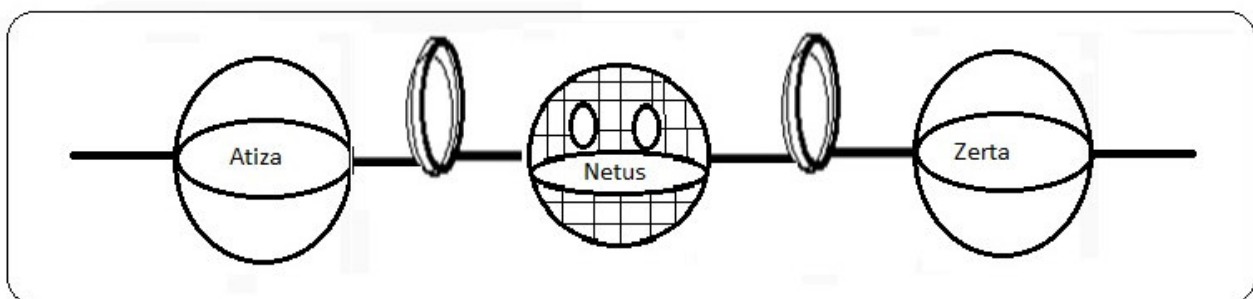


Los estados cuánticos son: $[1 \ 0]$, $[0 \ 1]$; El vector también se puede escribir $[x \ y]$ también como $x[1 \ 0] + y[0 \ 1]$ y $[1/\sqrt{2} \ 1/\sqrt{2}]$, $[1/\sqrt{2} \ -1/\sqrt{2}]$, $[1/\sqrt{2} \ i/\sqrt{2}]$. i) Cuando se mide el estado Quantum de $[\alpha \ \beta]$ y se obtiene 0 con probabilidad $|\alpha|^2$ y el estado del qubit es $[1 \ 0]$, por otro lado negar el vector es equivalente a $\alpha \rightarrow -\alpha$, con formato $e^{i\varphi}$ en lugar de ± 1 . ii) Cuando se mide el estado Quantum de $[\alpha \ \beta]$ y se obtiene 1 con probabilidad $|\beta|^2$ su estado es $[0 \ 1]$, por otro lado negar el vector es equivalente a $\beta \rightarrow -\beta$, con formato $e^{i\varphi}$ en lugar de ± 1

El Protocolo de Comunicación Cuánticas BB84

El protocolo BB84, es el primer protocolo creado para intercambiar claves cuánticas, inventado por Charles Bennett y Gilles Brassard en el año 1984, utiliza una clave 100% aleatoria de la misma longitud que el mensaje, se realiza la operación XOR entre el mensaje y la clave, esto se utiliza una única vez; la clave se intercambia con el receptor por un canal seguro. A continuación se presentan en detalle algunos aspectos necesarios para realizar transmisiones en sistemas de fibra óptica que relaciona los protocolos de comunicaciones cuánticas, protocolo seguro que previene ataques cuánticos.

El protocolo de comunicaciones cuántica BB84 se implanta para un sistema en donde un espía puede intervenir el canal óptico y suponemos que el atacante posee recursos tecnológicos ilimitados (Ver Figura N° 2).



Fuente: Construcción propia.

Figura N° 2. Transmisión Cuántica Intervenida por un Atacante



Este protocolo BB84 se utiliza en el sistema de comunicaciones que se aprecia en la Figura N°2. Este sistema de transmisión segura está intervenido por un atacante cuántico y en general sobre el sistema se intercambia una clave entre el transmisor y el receptor. Para este caso el transmisor se llama Atiza y el receptor se llama Zerta, entre ellos un tercer elemento que interviene el canal cuántico, en este caso se llama Netus quien tiene acceso tecnológico ilimitado a recursos y al canal que comparte Ariza y Zerta.

Los siguientes son los pasos para transmisión de información utilizando el protocolo BB84 de acuerdo a los autores [5], [6] y [7] (Ver tabla N° 3.).

Martinez Mateo	Elkouss & Localle	Martinez B.
Alice genera una secuencia de valores aleatorios que corresponderá con la clave que desea intercambiar con Bob.	Alicia genera una cadena aleatoria de unos y ceros, $a_1, \dots, a_i, \dots, a_N$ con $a_i \in \{0, 1\}$	Atiza genera una cadena de unos y ceros para intercambiar con Zerta. La cadena generada es $(a_1, \dots, a_i, \dots, a_N)$; $a_i \in \{0, 1\}$.
Alice genera otra secuencia aleatoria, ahora con las bases que utilizará para la codificación de la clave generada en el paso anterior.		Atiza genera otra secuencia entre dos bases a . La cadena c es $(c_1, \dots, c_i, \dots, c_N)$; $c_i \in \{0, 1\}$.
Alice codifica cada valor de la clave con la base correspondiente. Y envía la secuencia de qubits a Bob.	Para cada bit de la cadena Alicia elige aleatoriamente entre dos bases $(B+, Bx)$ y envía el bit codificado en dicha base. Representando $B+$ por 1 y Bx por 0, la cadena de bases es una cadena α de unos y ceros, $a_1, \dots, a_i, \dots, a_N$ con $a_i \in \{0, 1\}$	Atiza codifica cada bit de la clave y elige para cada bit entre dos bases $B+$ y Bx (ver anexo 1.). La cadena es una cadena $(a_1, \dots, a_i, \dots, a_N)$ con $a_i \in \{0, 1\}$ y se envía la secuencia de qubits a Zerta.
Bob genera una secuencia aleatoria con las bases que utilizará para decodificar la secuencia de estados recibidos de Alice.	Cuando Bernardo recibe el bit elige aleatoriamente la base con la que medir de entre las dos anteriores. La cadena que representa la base elegida es β , una cadena de longitud N equivalente a α . La medida genera una cadena b de unos y ceros, $b_1, \dots, b_i, \dots, b_N$ con $b_i \in \{0, 1\}$.	Zerta recibe la cadena de bits, por cada bit elige aleatoriamente la base con la que medir. La cadena que representa la base elegida es β , con longitud N . La medida genera una cadena de unos y ceros b . La cadena es $(b_1, \dots, b_i, \dots, b_N)$; $b_i \in \{0, 1\}$.
Bob mide cada estado recibido en la base correspondiente a la secuencia generada.	Bernardo envía β a Alicia por un canal público.	Zerta envía a Atiza la secuencia β por un canal público.



Martinez Mateo	Elkouss & Localle	Martinez B.
Bob envía a Alice la secuencia de bases utilizada a través de un canal público autenticado.	Por el mismo canal público, Alicia envía α a Bernardo.	Atiza por canal público envía la secuencia α a Zerta.
Alice compara la secuencia de bases que ha utilizado para codificación de la clave con la secuencia proporcionada por Bob en el paso anterior, quedándose sólo con aquellas mediciones para las que han coincidido ambas bases.	Alicia y Bernardo borran de sus cadenas los bits en los que se han usado bases diferentes.	Atiza y Zerta eliminan los bits que han usado bases diferentes.
Alice y Bob comparten ahora una secuencia de valores formada por aquellos en los que las posiciones donde las bases de preparación y medición han coincidido	A continuación Alicia envía a Bernardo una lista de posiciones junto a su valor para estimar la tasa de error.	Atiza envía a Zerta las posiciones junto con su valor, esto se utiliza para estimar la tasa de errores.
Después de los puntos anteriores existe un postproceso cuyo objetivo es estimar la presencia de un espía, corregir los errores, y amplificar la privacidad. Estos pasos siempre se ejecutan en un proceso de QKD, aunque formalmente no se consideren parte del protocolo BB84.	Si la tasa de error es inferior a un cierto umbral, se da por válido el intercambio; si es superior, Bernardo comunica a Alicia que hay que abortar el protocolo.	Si la tasa de error es inferior a determinado umbral se da como válida la transmisión. Si es superior se ejecuta todo el proceso.

Tabla Nº 3. Pasos del protocolo BB84

Fuente: Construcción propia.

Este es el proceso de intercambio de información con clave de longitud igual al mensaje a proteger. Esta secuencia de clave se utiliza una única vez. La siguiente transmisión se debe utilizar otra secuencia de clave.

Referencias Bibliográficas:

[1] Einstein 1905: De los Cuantos de energía a los cuantos de luz. <<http://www.scielo.br/pdf/ss/v5n4/a01v5n4.pdf>>. Consultado en febrero de 2020.

[2] Sirlin, Ali. (2006). Física de la Luz. <http://www.elisirlin.com.ar/11_fisica%20de%20la%20luz.pdf>. Consultado en febrero 20 de 2020.



[3] García, Elena. La luz. <<https://www.preparadores.eu/temamuestra/Secundaria/PMC.pdf>>. Consultado en febrero 2020.

[4] Barbero, Fernando. (). Einstein, la luz, el espacio-tiempo y los cuantos. <<http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/2069/2631#S1>>. Consultado en febrero de 2020.

[5] Martínez Mateo, Jesús. (2008). Criptografía cuántica aplicada. <http://oa.upm.es/1298/1/PFC_JESUS_MARTINEZ_MATEO.pdf>. Consultado en Mayo de 2020.

[6] Elkouss, David. Localle, Jesus. (2008). Protocolo de distribución cuántica de claves. <https://www.researchgate.net/publication/46418782_Protocolos_de_distribucion_cuantica_de_claves>. Consultado en mayo de 2020.

[7] Martínez B., Crisman. (2020). Notas de clase. Aula virtual. <www.ustadistancia.edu.co>. Obtenido en Mayo de 2020.

Bibliografía

Historia de los hermanos Chappe. <http://histel.com/z_histel/biografias.php?id_nombre=34>. Consultado en febrero de 2020.

Meucci, Antonio e la Citta di Firenze. Tra scienza, técnica e ingeniería. Consultado en febrero de 2020.

Pradillo, Beatriz. (2017). Láseres: Historia, tipos y aplicaciones. <<https://www.orbitalesmoleculares.com/laseres-historia-tipos-aplicaciones/>>. Consultado en febrero de 2020.

Romeo López, José María. El telégrafo óptico 1790 - 1850. Estudio crítico comparativo de los diferentes sistemas de transmisión utilizados. <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/574200.pdf>>. Consultado en febrero de 2020.

Chappe, Claude. <<https://proyectoidis.org/claude-chappe/>>. Consultado en febrero de 2020.

Biografiskt lexikon for Filand. Bibliografía de Abraham Niclas Edelcrantz. <<http://www.blf.fi/artikel.php?id=3705>>. Consultado en febrero de 2020.



Del teléfono de Graham Bell a una Internet que cambia el wifi por bombillas. (2014). <https://www.eldiario.es/hojaderouter/tecnologia/fotofono-Graham-Bell-internetbombillas-Li-Fi_0_303419769.html>. Consultado en febrero de 2020.

Pereda, Martín J.A. (2001). Páginas para una historia de las comunicaciones ópticas y la fotónica.

Astorgano, Abajo Antonio. (2012). La historia de la restauración del telégrafo grecolatino y el abate aragonés Vicente Requeno (1743 - 1811). Universidad de Zaragoza.

Capmany Francoy, Jose. Ortega Tamarit, Beatriz. (2014). Fundamentos de comunicaciones ópticas. <<https://youtu.be/odnATbhu5SY>>. Consultado en febrero de 2020.

Cristi, Antonia. (2014). Química. <<https://youtu.be/Nuh12HohfEM>>. Consultado en febrero de 2020.

Márquez Sánchez, Juan Carlos. (2018). Absorción de fotones con el simulador de Phet Colorado University. <<https://www.youtube.com/watch?v=NhrbLic8SWk>>. Consultado en febrero de 2020.

Webbmatte.se . Unidades de longitud. <http://www.webbmatte.se/display_page.php?language=som&HeadLanguage=esp&id=473&on_menu=2651&page_id_to_fetch=8514&lang=espanol/somalian&no_cache=21231755>. Consultado en febrero de 2020.

Valle, Francisco. Cortes, Yaiza. Molezuelas, Martín. Andres, Jesus Angel. Álvarez, Carmen. Marcos, Alvaro. Lopez, Sara. Rosao, Jose María. (2015). La ciencia de la luz. Noesis - Centro de formación S.L. The Wolf. Centro de láseres pulsados. <<https://youtu.be/uH9RfOH9iA8>>. Consultado en febrero de 2020.

Santo Pietro, David. (2017). Energía del Fotón. <<https://youtu.be/LgEimVjTYiw>>. Consultado en febrero de 2020.



Anexos

**Curso de Métricas de Investigación, Cienciometría,
Bibliometría y Datos Abiertos.**



Anexo N° 1. Contexto Internacional sobre Comunicaciones Cuánticas

Pregunta sobre la temática Comunicaciones cuánticas	Fuente	Respuesta
¿Qué puesto ocupa Colombia en la producción científica mundial y regional sobre el tema?	Scimago	<p>De acuerdo a [1]:</p> <p>Ecuación de búsqueda: área: Computer science. Categories: computer network and communications Regions: All regions. Types: All types.</p> <p>Colombia ocupa el puesto 56 con 1986 documentos, Documentos citables 1972. citas 3546, con Autocitas 821, citas por documento 1,79 e índice H 23. En la región Colombia ocupa el puesto n° 4 después de Canadá, Brasil y México.</p>
¿Quiénes son los países líderes en la investigación y producción científica del mundo en el tema?	Scimago	<p>Primero China 211.996, documentos citables 207.986, citas 717.714. Autocitas 408.94. Citaciones por documento 3.39, índice H. 195.</p> <p>Segundo Estados Unidos: 210.805, Documentos citables 204.221. citas 2.999.713, Autocitas 1015852, citas por documento 14,23 e índice H 494,</p>
¿Cuáles son las publicaciones más importantes a nivel mundial y regional en el tema?	Scimago	<p>Las publicaciones más importantes en los temas se encuentran:</p> <p>i) biochemistry, genetic y molecular biology. ii) Computer science. iii) Engineering. iv) Physics and astronomy.</p>
¿Qué año se han publicado más artículos de acuerdo con la ecuación de búsqueda sobre el tema?	Scopus	<p>Año 2020 con 281 publicaciones.</p> <p>Año 2019 con 398 publicaciones.</p> <p>Año 2018 con 441 publicaciones.</p> <p>Año 2017 con 427 publicaciones.</p> <p>Año 2016 con 564 publicaciones.</p> <p>Año 2015 con 323 publicaciones.</p>
¿Quiénes son los autores con más producción de acuerdo con la ecuación de búsqueda sobre el tema?	Scopus	<p>LP Kadanoff</p> <p>RP Feynman</p> <p>CL Degen, F Reinhard, P Cappellaro</p> <p>DJ Griffiths, DF Schroeter</p>
¿Cuáles son las instituciones que más han apoyado las publicaciones de	Scopus	<p>IBM, Google, Microsoft, Intel, Rigetti Computing, D-Wave, IDQuantique, IonQ, QuTech, Quantum Circuits o Alpine Quantum Technologies.</p>



acuerdo con la ecuación de búsqueda sobre el tema?		
¿Cuál es la tipología documental que más se ha publicado de acuerdo con la ecuación de búsqueda?	Scopus	<ol style="list-style-type: none">1. Artículos.2. Libros.3. Capítulos de libros.4. Conferencias.



Anexo Nº 2. Contexto Regional Sobre comunicaciones Cuánticas

Pregunta sobre la temática Comunicaciones cuánticas	Fuente	Respuesta
¿Qué países lideran la producción académica en Latinoamérica de acuerdo con la ecuación de búsqueda?	LaReferencia	Argentina 332 México 148 Colombia 93 Chile 92 Perú 82
¿Quiénes son los 5 autores que más publican en Latinoamérica de acuerdo con la ecuación de búsqueda?	LaReferencia	Soberanes Martín, Fabián Ramos, Alba Yanina Gutiérrez Chaparro, Javier A. Alid-Vaccarezza, Marcelo Lombardi, Olimpia; Martínez González, Juan Camilo
¿Cuáles son las universidades que más publican en Latinoamérica de acuerdo con la ecuación de búsqueda?	LaReferencia	Universidad Autónoma del Estado de México Universidad Nacional de Córdoba Universidad Nacional de Córdoba CONICYT Chile Universidad de São Paulo Universidad Nacional de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
¿Cuál es la tipología documental de mayor publicación en Latinoamérica de acuerdo con la ecuación de búsqueda?	LaReferencia	Artículo Tesis de maestría Tesis doctoral



Anexo Nº 3. Mediciones en Comunicaciones Cuánticas

Indicador	Descripción	Fuente	2018	2019	2020
Indicador de producción	Total de artículos	Scopus	441	398	281
Indicador de producción	Total de libros	Scopus	133	178	63
Indicador de producción	Total de capítulos de libros	Scopus	105	115	37
Indicador de producción	Total de Conference Paper	Scopus	142	127	58
Indicador de producción	Principal entidad financiadoras	Scopus	Compañías de china con US10.000. EE.UU. con US1.200. Europa US1.100. Reino Unido 381.	Compañías de china con US10.000. EE.UU. con US1.200. Europa US1.100. Reino Unido 381.	Compañías de china con US10.000. EE.UU. con US1.200. Europa US1.100. Reino Unido 381.
Indicador de producción	Principal país de publicación (sin incluir el país de origen)	Scopus	China	China	China
Indicador de producción	Autor con mayor publicaciones	Scopus	B Arfi - Physica A: Statistical Mechanics and its Applications DER George - New Theatre Quarterly	A Wendt - ... and international relations: Alexander Wendt KD Rothe - Journal of Physics A: Mathematical	A Actor - Reviews of Modern Physics J Honner
Indicador de producción	Total de artículos	WOS	1	1	1
Indicador de producción	Total de libros	WOS	0	0	0
Indicador de producción	Total de capítulos de libros	WOS	0	0	0
Indicador de producción	Total de Conference Paper	WOS	0	0	0



Indicador de producción	Principal entidad financiadoras	WOS	0	0	0
Indicador de producción	Principal país de publicación (sin incluir el país de origen)	WOS			
Indicador de producción	Autor con mayor publicaciones	WOS			
Indicador de producción	Total de artículos	LaReferencia	170	210	271
Indicador de producción	Total de libros	LaReferencia	0	0	0
Indicador de producción	Total Tesis Doctorado	LaReferencia	250	208	371
Indicador de producción	Total de Maestría	LaReferencia	95	118	193
Indicador de producción	Principal país de publicación (sin incluir el país de origen)	LaReferencia	Brasil	México	Brasil
Indicador de producción	Autor con mayor publicaciones	LaReferencia	Carlos Alberto Duque	Olgie J. F.	John Reina.
Indicador de producción	Total de artículos	Scielo	42	38	49
Indicador de producción	Principal entidad financiadoras	Scielo	0	0	0
Indicador de producción	Principal país de publicación (sin incluir el país de origen)	Scielo	Chile	Brasil	México
Indicador de producción	Autor con mayor publicaciones	Scielo	Lizama-Pérez, Luis Adrián; Montiel-Arrieta, Leonardo Javier; Hernández-Mendoza, Flor Seleyda; Lizama-Servín,	Gómez, N.D.; Codnia, J.; Azcárate, M.L.; Cobos, C.J..	Cano, Javier; Pulido, Walter.



			Luis Adrián; Simancas-Acevedo, Eric.		
Indicador de producción	Total de publicaciones	Google Scholar	10.900	2930	763



Anexo 4. Comparación a Nivel Nacional e Internacional en Comunicaciones Cuánticas

Indicador	Descripción	Fuente	2018	2019	2020
Índice de actividad # de publicaciones del país el área de conocimiento/ # total de publicaciones	tema, área de conocimiento y/o disciplina	Scopus	1.72	1.54	1.90
Índice de actividad	tema, área de conocimiento y/o disciplina	WOS	0.12	0.33	0.13
Tasa de crecimiento # de documento publicados / # de documentos publicados el año inmediatamente anterior	tema, área de conocimiento y/o disciplina	Scopus	0.8	0.832	1.783
Tasa de crecimiento	tema, área de conocimiento y/o disciplina	WOS	0.623	0.723	1.620
Índice de impacto	Revistas en Q1	Scimago	1493	1799	2996
Índice de impacto	Revistas en Q2	Scimago	619	658	668
Índice de impacto	Revistas en Q3	Scimago	361	365	370
Índice de impacto	Revistas en Q4	Scimago	183	197	219
Índice de impacto	Revistas en Q1	JCR	1102	1352	1350
Índice de impacto	Revistas en Q2	JCR	422	438	527
Índice de impacto	Revistas en Q3	JCR	215	287	284
Índice de impacto	Revistas en Q4	JCR	97	134	195



Anexo Nº 5. Conclusiones Cienciométricas en las mediciones y búsquedas

La escritura de un artículo científico exige buscar las mejores referencias en los mejores sitios científicos, este curso de cienciometría permite obtener las mejores bases de datos científicas.

Los recursos de consulta científica Scimago, Scopus, LaReferencia, WOS, Scielo, google scholar permiten obtener una visión detallada de las temáticas a investigar de acuerdo a referentes de carácter mundial y regional.

Es curso de cienciometría permite relacionar la información consultada y obtener los indicadores para tomar decisiones a la hora de consultar artículos.

Llama la atención que China y Estados Unidos son los países que cuentan con mayor productividad científica en el área de comunicaciones cuánticas.

Finalmente, cabe destacar que la cantidad de auto referencias en los documentos científicos es alta.



Anexo Nº 6. Referencias Cienciométricas

[1] SCImago. (2020). Computación. <<https://www.scimagojr.com/countryrank.php?area=1700&category=1705>>. Obtenido en mayo 25 de 2020.

[2] Corchuelo R. Camilo. (2020). Métricas de investigación: Cienciométrica, bibliometría y datos abiertos. Universidad Santo Tomás. Obtenido en Mayo de 2020.

[3] Web Site Scopus. (2020). <<https://www.scopus.com/dashboard.uri>>. Consultado en mayo de 2020.

[4] LaReferencia. (2020). <<http://www.lareferencia.info/es/>>. Consultado en mayo de 2020.