

# Propagación de qudits codificados en momento orbital angular a través de fibra de núcleo anular

Nelson Villalba<sup>1\*</sup>, Gustavo Cañas<sup>1†</sup>, Sebastián Ayala<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física, Universidad del Bío-Bío, Collao 1202, 5-C Concepción.

<sup>2</sup>Departamento de Física, Universidad de Concepción, 160-C Concepción.

\*nelson.villalba2101@alumnos.ubiobio.cl †gcanas@ubiobio.cl

## Introducción

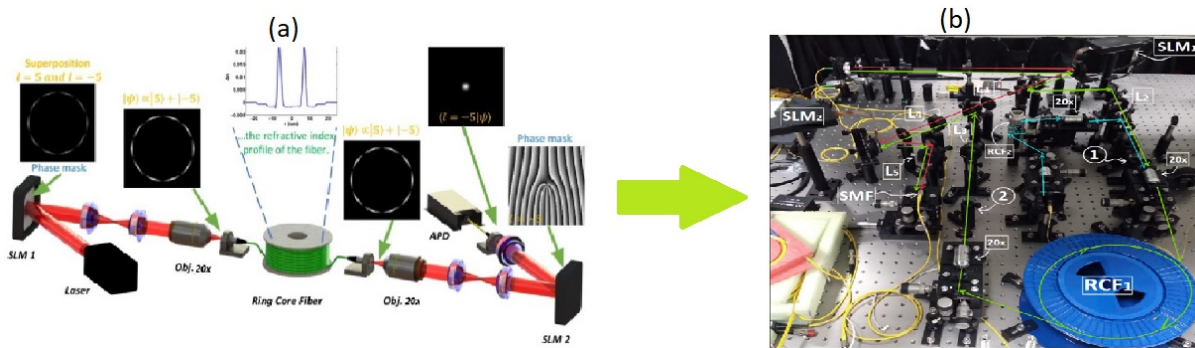
Desde fines de los años 80', hemos experimentado un veloz, sostenido y frenético aumento de transmisión de información en fibras ópticas convencionales, o fibras monomodo (SMF) [1]. Para responder a esta demanda, durante años, se implementaron tecnologías que permitieron aumentar la capacidad de transmisión, por ejemplo: el amplificador de fibra dopado con erbio (EDFA), multiplexación por longitud de onda (WDM), entre otros [1].

Sin embargo, existe un agotamiento intrínseco en la capacidad de transmitir información en las SMF, hecho conocido como Capacity Crunch [1]. Investigaciones recientes proponen superar este límite natural, usando los modos espaciales transversales de la luz, estos se pueden propagar en espacio libre o fibra, esta tecnología es conocida como multiplexación por división espacial (SDM) [1]. Cuyo funcionamiento requiere el uso de fibras del tipo: fibras de pocos modos (FMM) [1], fibras de núcleo anular (RCF) [2], o fibras multinúcleo (MCF) [1]. Las RCF, son un caso particular de FMM, y de especial interés para nuestro trabajo. Un modo espacial de la luz es el momento orbital angular (OAM) [3], su ventaja consiste en que la distribución radial de los haces de luz que portan OAM poseen forma de dona, hecho que lo posiciona como el candidato ideal para ser acoplado en las RCF debido a su geometría radial [4].

El típico haz capaz de portar OAM, son los modos Laguerre-Gauss (LG) [5], que poseen la ventaja de ser autoestados de la propagación, por lo tanto, son resistentes a las condiciones ambientales en espacio libre. No obstante, se han registrado problemas de acople, entre los LG propagados en espacio libre [6] y los modos que pueden propagar las fibras RCF [6], frecuentemente llamados modos linealmente polarizados (LP) [6]. Este hecho es atribuido principalmente al incremento del perfil de los modos LG con la raíz cuadrada del OAM [5], por lo tanto, se ha logrado trabajar sólo con estados de bajo OAM [4]. Para optimizar la eficiencia del acople en la fibra, proponemos usar los haces de vórtice perfecto (PVB) [8-10], haces cuyos perfiles de intensidad radial permanecen constantes respecto al valor de OAM [9]. Si propagamos en la RCF, haces PVB cuyo perfil transversal sea similar al radio del núcleo de la RCF, podríamos mantener un acople constante y codificar más información con los modos del OAM.

Ya que, el perfil del PVB es independiente respecto al OAM que porta, podemos aprovechar esta característica, y generar estados qudits en dimensiones mayores a 2 en el espacio de Hilbert [11]. Estos qudits codificados en OAM (OAM-QUDIT), pueden alcanzar infinitas dimensiones en principio [5], si usamos el OAM como grado de libertad, su uso provee ventajas en comunicaciones pues incrementa la información por fotón [12], y aumenta la seguridad de protocolos de distribución de clave cuántica (QKD) [13]. En este trabajo, se usa la técnica SDM acoplado en la fibra estados codificados en OAM, para hacer procesamiento de información cuántica en altas dimensiones.

# Propuesta Experimental



**Figura 1:** (a) propuesta de montaje experimental utilizado, SLM: modulador espacial de luz, 20x: lente objetivo 20x, APD: foto detector. (b) fotografía de montaje experimental utilizado Li: lentes, RCF: fibra de núcleo anular, SMF: fibra monomodo, los puntos (1) y (2) representan las posiciones del plano imagen respecto a SLM1. En (b) se destacan circuitos ópticos de color rojo, verde y celeste que representan el circuito óptico usado para medir cuantitativamente el OAM propuesto por Forbes et. al [14], nuestra propuesta, y un circuito auxiliar para evaluar alineación respectivamente.



## Referencias

- [1] Richardson, D. J., Fini, J. M., Nelson, L. E. Phys. Nature photonics, Vol. VII (2013)
- [2] BRUNET, Charles, : Optics express, Vol XXIII (2015)
- [3] Bozinovic, N., Yue, Y., Ren, Y., Tur, M., Kristensen, P., Huang, H., Ramachandran, S. science, Vol. CCCXL (2013)
- [4] COZZOLINO, Daniele, et al, Physical Review Applied, 2019, Vol XI (2019).
- [5] Allen, L., Beijersbergen, M. W., Spreeuw, R. J. C., Woerdman, J. P. Physical review A, (1992)
- [6] Rojas-Rojas, S., Cañas, G., Saavedra, G., Gómez, E. S., Walborn, S. P., Lima, G. Optics Express Vol. XXIX (2021)
- [7] FARKAS, Máté, et al. Physical Review Applied Vol XV (2021)
- [8] OSTROVSKY, Andrey S., RICKENSTORFF-PARRAO, Carolina y ARRIZÓN, Víctor. Optics letters, Vol. XXXVIII (2013)
- [9] Vaity, P., Rusch, L. Optics letters Vol. IL (2015)
- [10] GARCÍA-GARCÍA, Joaquín, et al. Optics letters, Vol. XXXIX (2014)
- [11] NIELSEN, Michael A.; CHUANG, Isaac L.: Phys.Today, Vol. LIV (2001)
- [12] BECHMANN-PASQUINUCCI, Helle; TITTEL, Wolfgang. Physical Review A, 6, Vol. LXI (2000)
- [13] CERF, Nicolas J., et al. Physical review letters, Vol. LXXXVIII (2002)
- [14] Pinnell, J., Rodríguez-Fajardo, V., Forbes, A, Optics Letters, Vol. XLIV (2019)