

# Libretas interactivas con soporte de varios lenguajes de programación en comunicaciones y computación cuántica

## Contexto

### • Introducción a las comunicaciones y computación cuántica:

Asignatura optativa común a todos los grados de la rama de telecomunicaciones: Estudiantes con varias trayectorias, soltura en distintos lenguajes de programación, y diferente nivel de habilidades matemáticas.

### • ¿En qué consiste el proyecto?

Implementación de los ejemplos, originalmente en lenguaje matemático, en una serie de libretas interactivas (*Jupyter Notebooks*) desarrolladas en dos lenguajes de programación diferentes (*Octave/Matlab* y *Python*).

### • ¿Por qué es importante este proyecto?

Permite adaptar la asignatura al contexto particular de cada estudiante, facilitando el aprendizaje.

## Desarrollo del Proyecto

### 1. Ejemplos en lenguaje matemático

**Ejemplo 5.6** Considere un sistema cuántico compuesto formado por dos estados independientes

$$\delta^{AB} = \rho^A \otimes \sigma^B = \begin{bmatrix} \rho_{11}\sigma^B & \rho_{12}\sigma^B \\ \rho_{21}\sigma^B & \rho_{22}\sigma^B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_{11}\sigma_{11} & \rho_{11}\sigma_{12} & \rho_{12}\sigma_{11} & \rho_{12}\sigma_{12} \\ \rho_{11}\sigma_{21} & \rho_{11}\sigma_{22} & \rho_{12}\sigma_{21} & \rho_{12}\sigma_{22} \\ \rho_{21}\sigma_{11} & \rho_{21}\sigma_{12} & \rho_{22}\sigma_{11} & \rho_{22}\sigma_{12} \\ \rho_{21}\sigma_{21} & \rho_{21}\sigma_{22} & \rho_{22}\sigma_{21} & \rho_{22}\sigma_{22} \end{bmatrix}$$

Si descartamos la parte *A* del sistema obtenemos

$$\text{Tr}_A[\delta^{AB}] = \begin{bmatrix} \rho_{11}\sigma_{11} + \rho_{22}\sigma_{11} & \rho_{11}\sigma_{12} + \rho_{22}\sigma_{12} \\ \rho_{11}\sigma_{21} + \rho_{22}\sigma_{21} & \rho_{11}\sigma_{22} + \rho_{22}\sigma_{22} \end{bmatrix} = \text{Tr}[\rho^A] \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} \end{bmatrix} = \sigma^B.$$

mientras que si descartamos la parte *B* del mismo queda

$$\text{Tr}_B[\delta^{AB}] = \begin{bmatrix} \rho_{11}\sigma_{11} + \rho_{11}\sigma_{12} & \rho_{11}\sigma_{12} + \rho_{12}\sigma_{12} \\ \rho_{21}\sigma_{11} + \rho_{21}\sigma_{12} & \rho_{21}\sigma_{12} + \rho_{22}\sigma_{12} \end{bmatrix} = \text{Tr}[\sigma^B] \begin{bmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} \\ \rho_{21} & \rho_{22} \end{bmatrix} = \rho^A.$$

Jupyter notebooks: *Octave, Python*

### 2. Libretas en Matlab/Octave y Python

Introducción a la comunicación y la computación cuántica *ejemplo-5.6-octave.ipynb*

**Ejemplo 5.6: Marginalización de un estado independiente**

Considere un sistema cuántico compuesto formado por dos estados independientes

$$\delta^{AB} = \rho^A \otimes \sigma^B = \begin{bmatrix} \rho_{11}\sigma^B & \rho_{12}\sigma^B \\ \rho_{21}\sigma^B & \rho_{22}\sigma^B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_{11}\sigma_{11} & \rho_{11}\sigma_{12} & \rho_{12}\sigma_{11} & \rho_{12}\sigma_{12} \\ \rho_{11}\sigma_{21} & \rho_{11}\sigma_{22} & \rho_{12}\sigma_{21} & \rho_{12}\sigma_{22} \\ \rho_{21}\sigma_{11} & \rho_{21}\sigma_{12} & \rho_{22}\sigma_{11} & \rho_{22}\sigma_{12} \\ \rho_{21}\sigma_{21} & \rho_{21}\sigma_{22} & \rho_{22}\sigma_{21} & \rho_{22}\sigma_{22} \end{bmatrix}$$

```
In [7]: fprintf('\nDefinimos un estado compuesto independiente:\n\n')
rhoA = [[3/4, 0]; [0, 1/4]]
sigmaB = [[1/2, 1/2]; [1/2, 1/2]]
deltaAB = kron(rhoA, sigmaB)

Definimos un estado compuesto independiente:

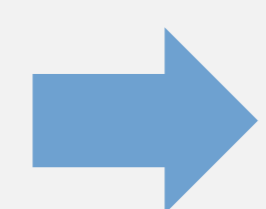
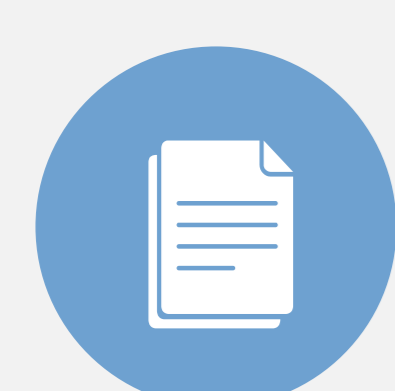
rhoA =
    0.7500    0
         0    0.2500

sigmaB =
```

### 3. Aprendizaje adaptado

Ejemplos y libretas disponibles en: <https://www.tsc.uc3m.es/~gvazquez/intro-cuantica/>

## Resultados



**Libretas interactivas integradas en el material docente**

<https://www.tsc.uc3m.es/~gvazquez/intro-cuantica/>



**Aprendizaje adaptado**

- Menos preguntas de implementación.
- Foco en los conceptos y contenido.

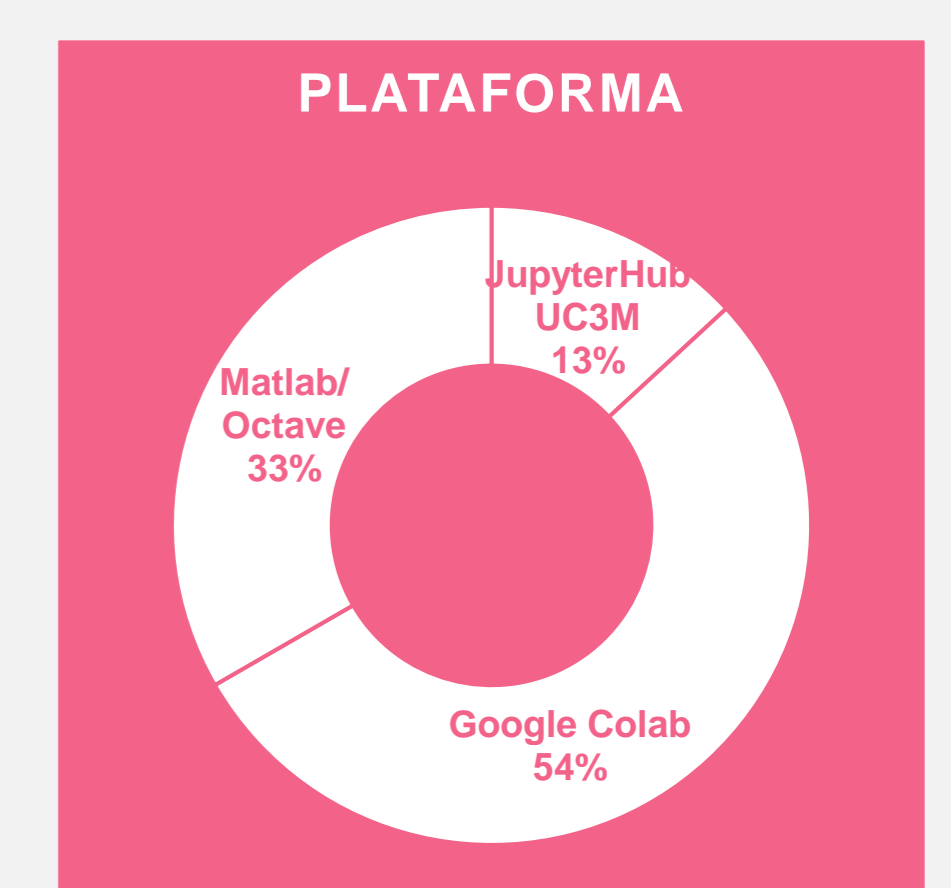
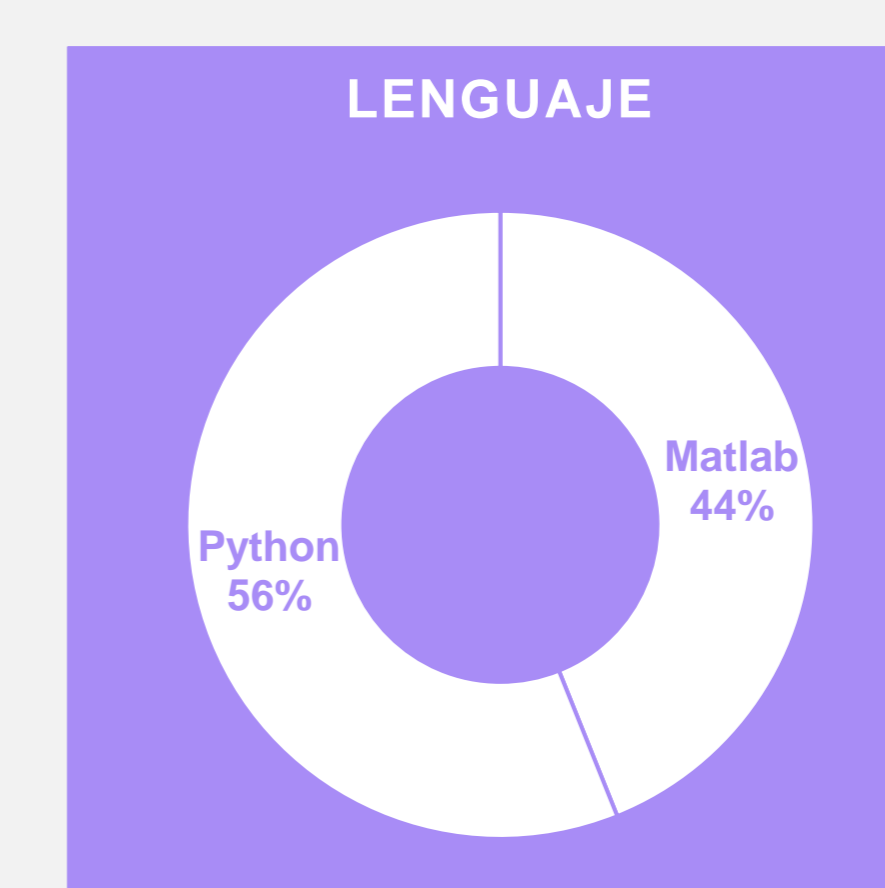
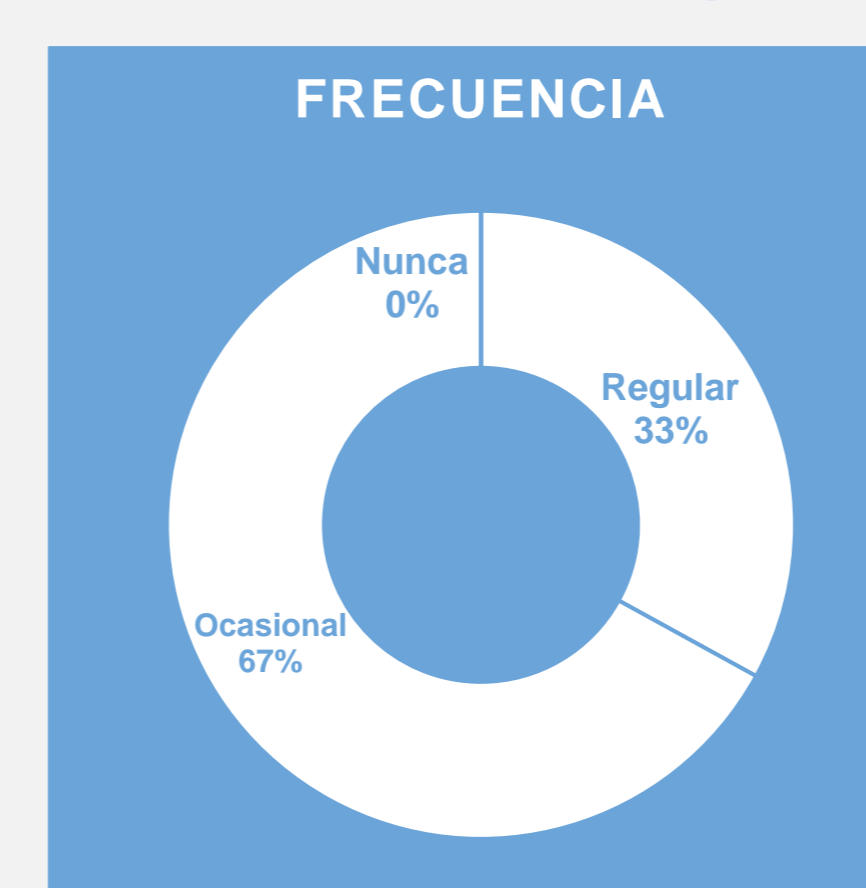


**Valoración del proyecto**

- Entender mejor los conceptos matemáticos:
- Resolución de ejercicios y tareas:



**Encuesta de uso de las libretas interactivas:**  
**wooclap**



Plataforma encuesta: Wooclap, al ritmo de los participantes. Muestra: 15 estudiantes. Fecha extracción datos: 21/05/2024

## Aplicación y conclusiones

¿Cómo pueden aplicar esta experiencia otros docentes?

Para estudiantes con diferentes trayectorias y conocimientos: diversificar los recursos educativos y presentación del material para que cada estudiante pueda adaptar el aprendizaje a sus circunstancias particulares.

*Jupyter Notebooks* con varios kernels: plataforma *JupyterHub UC3M* soporta Octave y Python (entre otros)



# Valoración Competencial

Con el fin de vincular los Proyectos de Innovación Docente con el marco competencial de referencia europeo, DigCompEdu, por favor, señala a continuación, **resaltando en negrita o subrayado**, aquellas competencias que han tenido un impacto mayor en el desarrollo de tu PID.

## 1 COMPROMISO PROFESIONAL

- 1.1 Comunicación organizacional
- 1.2 Colaboración profesional
- 1.3 Práctica reflexiva
- 1.4 Formación digital

## 2 RECURSOS DIGITALES

- 2.1 Seleccionar
- 2.2 **Crear y modificar**
- 2.3 Gestionar, proteger, compartir

## 3 ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE

- 3.1 **Enseñanza**
- 3.2 **Guía**
- 3.3 Aprendizaje colaborativo
- 3.4 **Aprendizaje auto-dirigido**

## 4 EVALUACIÓN Y RETROALIMENTACIÓN

- 4.1 Estrategias de evaluación
- 4.2 Analizar evidencia
- 4.3 Retroalimentación y planificación

## 5 EMPODERAR A LOS ESTUDIANTES

- 5.1 **Accesibilidad e inclusión**
- 5.2 **Diferenciación y personalización**
- 5.3 Participación activa

## 6 FACILITAR LA COMPETENCIA DIGITAL DE LOS ESTUDIANTES

- 6.1 **Información**
- 6.2 **Comunicación**
- 6.3 **Creación**
- 6.4 **Uso responsable**
- 6.5 **Solución de problemas**

## 7 EDUCACIÓN ABIERTA

- 7.1 **Licencias abiertas en recursos educativos**
- 7.2 **Prácticas educativas abiertas**
- 7.3 **Publicación en revistas científicas abiertas**

### Indica a continuación:

- Línea 1: Nuevas formas de presentación de materiales educativos
- Línea 2: Nuevas estrategias para la participación de los alumnos
- Línea 3: Nuevas formas de evaluar
- Línea 4: Nuevas metodologías educativas
- Línea 5: Aprendizaje-Servicio (ApS)
- Línea 6: Aprendizaje Activo en Docencia Digital (AADD)
- Línea 7: Proyectos que involucren el uso de herramientas de Inteligencia Artificial generativa



**Sí  No  - El equipo docente acepta que la información proporcionada pueda ser utilizada por UC3M Digital para su difusión**