

## EXERCICI COMPUTACIÓ QUÀNTICA

L'objectiu d'aquest exercici és simular i executar en un ordinador quàntic real l'algorisme històric de Deutsch. Per això farem servir l'entorn qiskit de IBM (<https://en.wikipedia.org/wiki/Qiskit>) que ens permet dissenyar, simular i executar circuits quàntics (de fet hi ha un ventall gran de simuladors <https://quantiki.org/wiki/list-qc-simulators>). Dins de qiskit la fase de disseny i simulació es pot fer tant en un entorn visual (Quantum Composer) com en un notebook de Python (Quantum Lab, que nosaltres farem servir en un entorn web però que també es pot descarregar localment). Pel que fa a l'execució, és lliure en un ordinador quàntic real i de forma gairebé instantània, tot i que limitat a un màxim de 5 qubits, suficient pel nostre propòsit.

1. Com no pot ser d'altra manera cal registrar-se: <https://quantum-computing.ibm.com/>
2. Un cop registrats podem entrar a la pantalla on es presenta el nostre tauler d'activitats. Començarem triant Quantum Composer, que ens mostra un conjunt de tres qubits més una darrera línia per les mesures, junt amb una paleta de portes, de forma que podem muntar qualsevol circuit. En primer lloc podem muntar el circuit que produeix parells enllaçats (una porta Haddamard i una C-NOT). Cal eliminar el tercer qubit (q3), i a més de la porta H i CNOT afegir les icones de mesura pels dos qubits. Si tot ha anat bé veureu a sota que la probabilitat és del 50% de mesurar 00 o bé 11. Mostreu una impressió de pantalla en l'informe.
3. Ara es tracta de fer això mateix amb el Quantum Lab, que s'activa tornant a la pantalla inicial. Aquí se'ns mostra el típic notebook de python, i ens limitarem a copiar les instruccions que a trobareu a l'enllaç <https://quantum-computing.ibm.com/lab/docs/iql/first-circuit> que implementen exactament el mateix circuit de l'apartat anterior. Podeu anar afegint les línies que apareixen als apartats "Build", "Execute", "Analyze" (és possible que hagueu de carregar addicionalment la instrucció "execute"). En principi haureu d'obtenir els mateixos resultats que a l'apartat anterior. Incloieu el notebook amb l'execució dins de l'informe.
4. Simular ara el circuit de Deutsch és pràcticament immediat. Quin és el circuit sencer que implementa el circuit de Deutsch per una funció balancejada del tipus  $f(0) = 0, f(1) = 1$ ? Com podeu veure és molt similar al que acabem d'estudiar. Cal no descuidar-se que el segon qubit està inicialitzat a l'estat  $|1\rangle$ , com per defecte tots estan inicialitzats a  $|0\rangle$  us caldrà aplicar una porta NOT per aquest qubit. Construïu el notebook que implementa aquests circuit i comproveu que dóna els resultats esperats.
5. Finalment l'executarem en un processador quàntic real. Podeu anar a l'enllaç <https://qiskit.org/textbook/ch-algorithms/deutsch-jozsa.html> i a l'apartat "Experiment with real devices" trobareu totes les instruccions que cal afegir. Tingueu en compte que, abans de totes aquestes comandes, cal afegir: (a) la instrucció " $n = 2$ " per tal d'especificar el nombre de qubits; (b) cal canviar "dj-circuit" pel nom que vosaltres heu fet servir al definir el vostre circuit a la instrucció inicial "circuit = QuantumCircuit()", que en aquest cas seria "circuit". Incloeu el resultat de tot aquest notebook a l'informe. Expliqueu els resultats obtinguts a l'execució real.
6. Per acabar, a la pàgina <https://qiskit.org/textbook/preface.html> podeu trobar un llibre de text molt ben preparat, que inclou exemples guiats sobre com implementar una gran varietat d'algorismes. Amb el background que teniu hauria de ser senzill avançar ràpidament fins la part que us interessi. Endavant les atxes!