

# Resumen

En las últimas décadas el procesamiento cuántico de la información se ha convertido en una temática que atrae gran interés, con constantes e importantes avances y prometedoras aplicaciones. La esencia de esta área reside en la correcta preparación y manipulación de estados cuánticos. Por lo tanto, resulta indispensable contar con procedimientos para una adecuada caracterización de los estados y procesos con los que se está trabajando. Tales métodos son usualmente conocidos como tomografía de estados y procesos cuánticos.

Esta tesis doctoral se centra en la propuesta de nuevos algoritmos para la tomografía selectiva de estados y procesos cuánticos de dimensión infinita, más precisamente en variables continuas.

Se introduce, por un lado, un nuevo algoritmo para la tomografía selectiva de estados cuánticos en variables continuas. Este protocolo permite la estimación directa de cualquier elemento de la matriz densidad en la representación de posición, empleando operaciones de *squeezing* y traslación controladas, fundamentales para el desarrollo de la computación cuántica en variables continuas. Se trata de un método que presenta ciertas ventajas respecto a los ya existentes en la literatura. Entre ellas se destaca que, al ser un algoritmo selectivo, no recurre a la reconstrucción completa de la matriz densidad ni de alguna función de cuasiprobabilidad que describa al estado. Por otro lado, al tratarse de una medida directa, no hace uso de métodos de inversión lineal ni requiere un posprocesamiento de los datos, lo que disminuye el consumo de recursos computacionales. Este algoritmo puede ser además utilizado para la caracterización completa de un estado cuántico en variables continuas.

Se desarrollan asimismo nuevos algoritmos para la tomografía selectiva de procesos cuánticos en variables continuas. Entre los algoritmos propuestos se destaca el de un nuevo protocolo que recurre al empleo de compuertas de traslación y de *squeezing* controladas, y ofrece cierta libertad respecto al estado de entrada utilizado, funcionando con estados que al día de hoy pueden ser preparados. Esta propuesta presenta diferentes ventajas respecto a los algoritmos ya encontrados en la literatura. Se trata de un protocolo que no requiere pasar por una reconstrucción completa del proceso y, además, no recurre al empleo de un conjunto de estados de prueba para determinar la acción del proceso sobre cada uno de ellos. Adicionalmente,

al obtener directamente de las medidas una estimación del elemento deseado del proceso, se reduce la limitante que suponen los tiempos computacionales para el posprocesamiento de datos.

Finalmente, utilizando una extensión a dimensión infinita del isomorfismo de Choi-Jamiołkowski, se muestra la relación existente entre los elementos de matriz de un estado isomorfo a un proceso cuántico y los elementos del proceso en la representación de posición. Este resultado permite, por medio de una adaptación del algoritmo para tomografía selectiva de estados cuánticos en variables continuas, estimar selectivamente los elementos de matriz del estado isomorfo y consecuentemente los elementos del proceso asociado. Siendo que este algoritmo funciona mejor sólo para ciertos elementos del proceso, se muestra además cómo, con algunas modificaciones, se puede obtener otro nuevo protocolo que permite la estimación directa de cualquier elemento del proceso en la representación de posición.

# Abstract

In recent decades, quantum information processing has become a topic of great interest, with ongoing and significant achievements and promising applications. The essence of this field lies in the correct preparation and manipulation of quantum states. Therefore, it is crucial to have procedures for accurate characterization of the states and processes we are working with. Such methods are usually referred to as quantum state and quantum process tomography.

This doctoral thesis focuses on the proposal of new continuous-variable selective quantum state and quantum process tomography algorithms.

A new algorithm for continuous-variable selective quantum state tomography is introduced. This protocol allows the direct estimation of any density matrix element in the position representation, by resorting to controlled squeezing and translation operations, which are fundamental for the development of continuous-variable quantum computing. This method presents certain advantages when compared to those already found in the literature. Notably, being a selective algorithm, it works without requiring the complete reconstruction of the density matrix or of a quasi-probability function that describes the state, procedures commonly used in conventional quantum state tomography schemes for continuous-variable systems. Additionally, it does not rely on linear inversion methods nor does it require data post-processing, consequently decreasing the usage of computational resources. This algorithm can also be used to achieve full characterization of a quantum state for continuous-variable systems.

Furthermore, new algorithms for continuous-variable selective quantum process tomography in the position representation are presented. Among the proposed algorithms, a new protocol stands out. It relies on controlled translation and squeezing gates and on initial quantum states that can currently be prepared. This proposal presents some advantages when compared to algorithms already found in the literature. It is a protocol that does not require a complete reconstruction of the process and does not resort to the use of a set of probe states to determine the action of the process on each one of them. In addition, by obtaining an estimate of the desired process element directly from measurements, data post-processing and computational times can be significantly reduced.

Finally, using an infinite-dimensional extension of the Choi-Jamiolkowski isomorphism, the relationship between the matrix elements of a state isomorphic to a

quantum process and the elements of the process in the position representation is shown. This result allows, by means of adapting the continuous-variable selective quantum state tomography algorithm, to selectively estimate the matrix elements of the isomorphic state and consequently the elements of the associated process. Since this algorithm works best only for certain elements of the process, it is shown, that following some modifications, another new protocol can be obtained that allows the direct estimation of any element of the process in the position representation.