

## CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN

### 1.1. Introducción

La Plataforma Continental Argentina es una de las más extensas del hemisferio Sur y una de las áreas de mayor productividad primaria del océano mundial (Bisbal *et al.*, 1995; Acha *et al.*, 2004). A partir de parámetros físico químicos y soluciones numéricas se infirió que la circulación media en la plataforma es hacia el NNE (Forbes y Garraffo, 1988, Rivas y Frank-Langer, 1994, Palma *et al.*, 2008) y está dominada por fluctuaciones de baja frecuencia, entre 10 y 100 días (Piola y Rivas, 1997) (Fig. 1-1). Se han identificado además áreas cerradas y semi-cerradas dentro de la plataforma que generan localmente sus propias características de circulación, como son los sistemas de Bahía Grande, Golfo San Jorge y los Golfos Norpatagónicos (Glorioso y Flather, 1995, Palma *et al.*, 2004a). Esta última región, ubicada entre los 41° y los 43° de Latitud Sur, comprende los Golfos Nuevo (GN), San José (GSJ) y San Matías (GSM) (Fig. 1-1) y constituye una de las regiones oceanográficas más importantes de la Plataforma Continental Argentina (Acha *et al.*, 2004).

El GSM es el segundo golfo más extenso de Argentina y presenta una rica composición de especies, ya que en estas latitudes se establece la zona de transición entre dos Provincias Biogeográficas: la Argentina y la Magallánica (Menni, 1983). Esta riqueza de organismos determina también la existencia de un complejo pesquero de carácter multiespecífico. (González *et al.*, 2004; Narvarte, 2004). Asimismo, el Área Natural Protegida Península Valdés (que incluye el GN y el GSJ) es el reservorio de flora y fauna costera más importante de la Patagonia, fue declarada Patrimonio Natural Mundial por la UNESCO en 1999, y a través del turismo impulsa la revalorización y conservación de los recursos naturales.

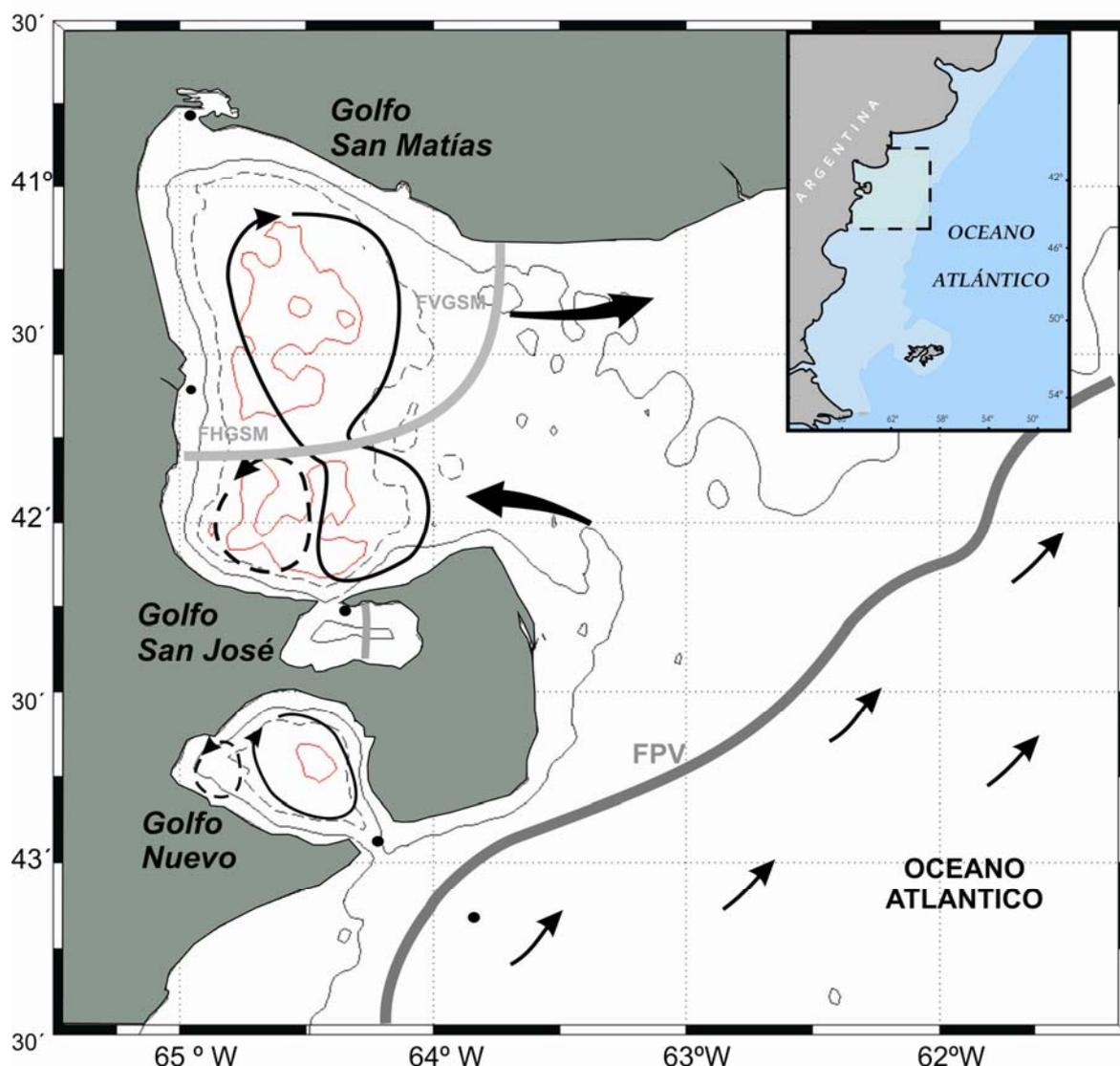


Figura 1-1. Región de estudio y características de la circulación. Los puntos negros indican sitios en donde hay series temporales de corrientes disponibles, las flechas sugieren la circulación estimada. Las líneas grises gruesas indican la ubicación de los frentes (FPV, FMSM y FZSM). Las líneas finas grises indican la isobata de 50 m, las grises punteadas la isobata de 100 m y la línea roja la de 150m.

La conexión de los golfos con aguas externas es variada y depende principalmente de las dimensiones y la batimetría existente en la boca. De las características geomorfológicas y oceanográficas se infiere que los golfos San Matías y Nuevo funcionen como ecosistemas subordinados al mar epicontinental adyacente y el GSJ como un ecosistema subordinado al GSM. Sin embargo, los registros de corrientes (Fig. 1-1) en esta región son pocos y de corta duración (Framiñan *et al.*, 1991; Rivas, 1997, Moreira *et al.* 2009), dominados por fluctuaciones de alta frecuencia, inerciales y de marea, y resultan inadecuados para revelar los rasgos de circulación general. Por este motivo, la circulación oceánica media en la zona de los

Golfos Norpatagónicos y sus conexiones con el mar adyacente ha sido generalmente inferida a partir de la distribución de propiedades físico-químicas, e indicadores biológicos (Carreto *et al*, 1974; Glorioso, 1987; Piola y Scasso, 1988; Rivas y Beier, 1990) y modelos físico-matemáticos simplificados (i.e, Barros y Krepper, 1977, Glorioso y Simpson, 1994).

Según Carreto *et al.* (1974) el GSM presenta dos zonas bien diferenciadas en cuanto a su productividad: las denominadas “aguas propias del golfo” en el sector Norte y Oeste del mismo están caracterizadas por una elevada temperatura y salinidad, una marcada termoclina y concentraciones limitantes de nitratos; mientras que las “aguas de origen externo”, localizadas en el sector sur y sudeste, presentan menor temperatura y salinidad, ausencia de estratificación y concentraciones relativamente altas de nitratos. Piola y Scasso (1988), en base al análisis de datos hidrográficos, señalan la presencia durante gran parte del año de un frente termohalino orientado zonalmente en las proximidades de 41° 50' S, el cual separa las aguas más cálidas y salinas del sector Norte de las más frías y menos salinas que ingresan por el sector sur (Fig. 1-1). Imágenes satelitales de temperatura superficial del mar parecen confirmar la existencia de este frente en el verano (Gagliardini *et al*, 2004). El GSM presenta un máximo de salinidad relativa sobre la Plataforma Patagónica, que Scasso y Piola (1988) vinculan al intercambio entre el mar y la atmósfera, donde se presenta un exceso de evaporación de 100 cm/año. El drenaje de estas aguas relativamente salinas, presumiblemente por el sector Norte del GSM, invade el sector estuarial de El Rincón durante el invierno (Lucas *et al*, 2005). Rivas y Beier (1990) coinciden en señalar el ingreso de agua más fría y menos salina por el sector sur de la boca del golfo y también estiman que el máximo de salinidad es originado por el aislamiento a que se ven sometidas las aguas interiores. Datos inferidos de sensores remotos muestran que el GSJ también está dividido meridionalmente en dos dominios (Fig. 1-1) con aguas de diferentes características (Gagliardini *et al.*, 2004, Amoroso *et al.*, 2010). Los mismos autores detectan un posible intercambio entre los golfos GSM y GSJ a través de la formación de dipolos no estacionarios (remolinos) generados en el GSJ.

La circulación oceánica en la región está caracterizada por grandes amplitudes de marea, fuertes vientos y un intenso intercambio de calor y humedad con la atmósfera. El flujo de energía de las mareas sobre la Plataforma Continental

Argentina es uno de los más grandes del mundo, particularmente frente a Península Valdés y en la entrada del GSM (Palma *et al.*, 2004a, Simionato *et al.*, 2004, Moreira, 2008) y ha despertado en el pasado interés para la generación de energía eléctrica (Palma, 2002). La mezcla inducida por estas intensas corrientes de marea genera altos niveles de disipación y en zonas de bajo fondos puede llegar a inhibir la formación de la termoclina estacional, dando origen en primavera y verano a frentes térmicos que definen la frontera entre aguas estratificadas y verticalmente mezcladas. Asociado a estos sistemas frontales existe una alta tasa de productividad primaria y secundaria constituyéndose asimismo en estructuras oceánicas claves para entender la alimentación, reproducción y patrones migratorios de las poblaciones locales de aves y mamíferos (Acha *et al.*, 2004).

En la zona de estudio se han identificado hasta el momento tres estructuras frontales (Fig. 1-1). Una de ellas, ubicada al sudeste de la península de Valdés (FPV), se origina cerca de 45°S y se extiende hacia Noreste siguiendo aproximadamente la isobata de 75-80 m (Carreto *et al.*, 1986; Sabattini y Martos, 2002; Bogazzi *et al.*, 2006). Se ha encontrado evidencia de la relación entre la dinámica del FPV y las estrategias reproductivas de las dos especies pesqueras más importantes de la zona (Anchoa, *Engraulis anchoita* y Merluza argentina, *Merluccius hubbsi*), debido a que tanto las zonas de criadero como de desove se encuentran cerca del frente (Ciechomski y Weiss, 1974; Ehrlich *et al.*, 1998). Asociado a la formación de los frentes, también se ha detectado grandes concentraciones de Vieyras (*Claims Patagonica*) (Orensanz *et al.*, 1991) y la ocurrencia de las denominadas “mareas rojas” (Carreto *et al.*, 1998). El segundo frente se ubica en el sector Norte de la boca del GSM (FMSM) (Glorioso y Simpson, 1994; Rivas y Dell’Arciprete, 2000, Gagliardini, *et al.*, 2004). Gagliardini y Rivas (2004) estudiaron los frentes y su estacionalidad dentro del GSM mediante el análisis de imágenes satelitales. Estos autores verifican mediante dos sensores diferentes la variación de temperatura superficial en el GSM, corroborando la hipótesis de Carreto *et al.* (1974) sobre la presencia de dos zonas bien marcadas dentro del GSM que podrían delimitar un tercer frente dentro del GSM (FZSM) (Fig. 1-1).

## 1.2. Motivación.

La importancia de los Golfos Norpatagónicos radica en el hecho que comprende una de las regiones ecológicamente más importantes de la Plataforma Argentina. Un mejor conocimiento del sistema de corrientes, tales como giros oceánicos, corrientes costeras, remolinos topográficos y frentes tendrá un impacto central en el suceso de modelos físico-biológicos acoplados que podrían ser usados, entre otras cosas, para estudiar dispersión de larvas de peces y moluscos. Esto a su vez proveerá las bases para comprender la dinámica del ecosistema y diseñar mejores estrategias de manejo sustentable, particularmente de las pesquerías locales.

En relación a estas características de circulación, se han presentado varios interrogantes claves en la resolución de problemas de índole tanto físicos como biológicos. Uno de los interrogantes fundamentales es conocer con mayor precisión la circulación tridimensional media, es decir, determinar la extensión, intensidad y mecanismos físicos responsables de los giros en el interior de los golfos y su relación con la distribución de propiedades observadas. Posibles factores que controlan este giro incluyen rectificación topográfica de la onda de marea sobre topografía variable, gradientes horizontales de densidad, y viento en superficie, pero la contribución de cada uno de ellos a la circulación permanece desconocida. En relación a este interrogante es necesario también investigar si la circulación media es estable o presenta variaciones estacionales de importancia, asociadas a los mecanismos que generan tal variación.

Por otro lado, se necesita determinar con mayor precisión los mecanismos de intercambio que tiene cada uno de los golfos con la plataforma continental adyacente, los cuales nos brindan una herramienta que fundamenta no solo la circulación observada sino también el intercambio biológico y la conectividad existente entre especies. El GSM por ejemplo presenta un máximo relativo de salinidad en la plataforma argentina, queda por determinar cuál es la importancia relativa de la interacción mar-atmósfera (i. e. evaporación) con respecto a la dinámica oceánica (ej. flujos de intercambio de masa a través de la boca del GSM). Siendo el GSJ el único golfo del sistema interconectado con otro golfo (GSM) y aislado de conexión con aguas externas, presenta interés investigar cual es el rol que cumple este golfo inmerso en una circulación más general como es la del GSM y si su dinámica, presumiblemente diferente, puede llegar a influir en la adyacente. Otro de los tópicos de mucho interés en trabajos científicos previos y proyectos de

investigación en curso es la formación y variabilidad de los frentes en la plataforma Continental. A pesar de que varios frentes de esta región (FPV, FHGSM y FVGSM) han sido detectados y documentados (principalmente mediante teledetección y parámetros biológicos) es necesario interpretar su intensidad y variabilidad estacional, como así también sus principales mecanismos de formación y relación con los problemas del ecosistema.

Debido a la intensidad de la circulación en los golfos Norpatagónicos se hace difícil y costosa la obtención de datos en ciertos sectores clave de los mismos, como por ejemplo en las bocas y sectores de intercambio de flujo. Esto motivó la implementación de modelos numéricos con el fin de contar con una herramienta de conocimiento y predicción de la circulación. Los trabajos existentes son en general de baja resolución, con lo cual no pueden resolver procesos de escala reducida, tales como giros internos en los golfos, frentes térmicos, dinámica en las bocas de los golfos y eventos en aguas poco profundas. Hasta ahora los modelos utilizados han sido mayormente bidimensionales (Rivas, 1989; Glorioso y Simpson, 1994) y/o barotrópicos (Mazio *et al.*, 2004; Moreira, 2008), dejando grandes incógnitas sin resolver acerca de la tridimensionalidad y distribución vertical de campos de velocidad, importancia de la estratificación o respuesta dinámica a variaciones atmosféricas como fluctuaciones en el flujos de calor o intensidad y magnitud del viento. Akaprahamyan (1991) aplicó por primera vez un modelo baroclínico de 2° de resolución espacial pero sólo se estudió una situación de otoño-invierno y donde se excluyó el efecto de la marea (modelo de tapa rígida).

Un avance cualitativo y cuantitativo en la respuesta a los interrogantes que plantea la zona de estudio se lograría con la aplicación de un modelo numérico de suficiente resolución espacial (~ 1 km) que permita simular los giros topográficos y frentes identificados en la región, simule adecuadamente el frente interno del GSM, reproduzca el máximo de salinidad y su interacción con las aguas externas, permita cuantificar el intercambio de cada golfo con las aguas de plataforma y simule adecuadamente los intercambios entre los golfos GSJ y GSM. Un conocimiento preciso de la circulación colaborará además en el manejo de los recursos pesqueros y la prevención de problemas asociados, como sobrepesca y contaminación.

### **1.3. Objetivos**

El objetivo general de esta tesis es estudiar la circulación oceánica media y variabilidad estacional en el sistema de los Golfos Norpatagónicos y evaluar la importancia relativa de los mecanismos físicos que inducen la circulación y su variabilidad mediante la aplicación de un modelo numérico hidrodinámico tridimensional de alta resolución.

Son objetivos específicos:

1. Investigar la circulación media y residual generada por la marea en el área de estudio con énfasis en la formación de estructuras frontales y giros topográficos.
2. Estudiar el efecto local del viento y de los intercambios de masa y calor con la atmósfera en la generación de la circulación media y estacional de los Golfos.
3. Determinar los procesos dinámicos que controlan la formación del giro interior observado en el Golfo San Matías, la formación del frente termohalino y su estacionalidad.
4. Cuantificar el intercambio de propiedades de los Golfos con la atmósfera y el océano adyacente identificando los mecanismos dinámicos responsables de dicho intercambio.
5. Determinar los procesos dinámicos que controlan la formación de los frentes térmicos y su estacionalidad.

Luego de esta introducción, en el capítulo 2 se describen con más detalle las características físico-biológicas de la región de estudio y se analizan los antecedentes. El capítulo 3 expone la metodología empleada en el trabajo. La primer parte se enfoca en la descripción del modelo numérico empleado; la segunda analiza la implementación del modelo al área de estudio, grillas utilizadas y los experimentos numéricos propuestos. El capítulo 4 aborda la respuesta barotrópica de los golfos norpatagónicos cuando son forzados por marea. Se analiza en detalle la componente semidiurna  $M_2$  (líneas cotidales y de isoamplitudes, corrientes medias y aspectos energéticos) y se comparan los resultados obtenidos de elevación en superficie en áreas costeras (15 estaciones) y las corrientes medias con las escasas mediciones existentes. A continuación (se estudia el comportamiento de las corrientes residuales de marea junto con un análisis del balance de vorticidad. En el capítulo 5 se analiza la respuesta barotrópica de los golfos Norpatagónicos cuando son forzados con vientos en

superficie. Se llevaron a cabo una serie de experimentos donde se analiza la respuesta del océano a forzantes homogéneos e invariantes en el tiempo desde las 4 direcciones cardinales (Este (in-shore), Oeste (predominante en la región), Norte (genera zonas de surgimiento) y Sur (simula eventos de tormentas)) y forzantes variables temporal y espacialmente (climatología de vientos SCOW), ambos con y sin el forzante de marea. Dentro del análisis se estudian el flujo medio residual y elevaciones de la superficie, la estructura tridimensional del flujo, balances de momento, vorticidad residual y el flujo de intercambio en la boca de los golfos. En el capítulo 6 se emplea un modelo baroclínico (densidad variable) forzado con mareas, flujos de calor y humedad y vientos realistas diseñado para examinar principalmente la influencia de la topografía de fondo, el forzante y la estratificación sobre la dinámica de la circulación media y estacional en los golfos y la formación de frentes térmicos. El análisis se completa mediante la aplicación de un modelo Lagrangiano de seguimiento de partículas inertes y modelos simplificados para analizar la sensibilidad de los frentes ante diferentes forzantes. Finalmente, en el capítulo 7 se presenta un resumen y las conclusiones finales del trabajo.