



Module Print Version

Índice

Presentación del módulo

Brisas marinas

Descripción general

Introducción

Ocurrencia

Frente de brisa marina

Circulación básica

Mañana

Mediodía

Tarde

Noche

Efectos modificadores

Introducción

Forma del litoral

Terreno

Efectos del calentamiento de la superficie

Inversiones

Condiciones sinópticas

850 hPa

1000 hPa

Caso de estudio: Florida, 30 de mayo de 2002

Estructura sinóptica

Presión a nivel del mar

500 hPa

Observaciones satelitales y de superficie

1215 UTC

1515 UTC

1715 UTC

1915 UTC

2115 UTC

2315 UTC

Simulación del modelo AFWA MM5

Introducción

1500 UTC del 30 de mayo de 2002

1800 UTC del 30 de mayo de 2002

2100 UTC del 30 de mayo de 2002

0000 UTC del 31 de mayo de 2002

Conclusiones

Resolución del modelo: gradientes de temperatura

Resolución del modelo: forma del litoral

Resumen

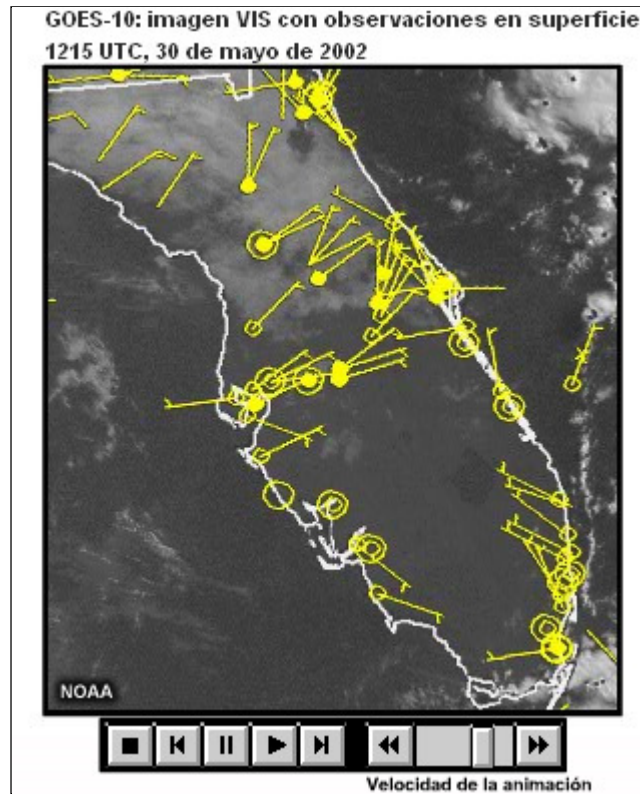
Pronóstico de brisas marinas

Presentación del módulo

El objetivo de este módulo de capacitación es ayudarle comprender mejor cómo y por qué se producen las brisas marinas. La comprensión de este fenómeno puede ayudarle a evaluar de forma más eficiente y con mayor precisión las condiciones sinópticas y de mesoescala que pueden influir en la formación de las brisas marinas. A su vez, esto le ayudará a pronosticar otros fenómenos meteorológicos, como la convección, que a menudo se asocian con la formación de las brisas marinas.

Brisas marinas > Descripción general > Introducción

Junto con sus parientes cercanos, las brisas de tierra, de lago y de río, las brisas marinas son circulaciones de masas de aire de origen térmico que surgen a lo largo de casi todas las fronteras tierra-agua del mundo. Sin embargo, las circulaciones a escala local asociadas con la brisa marina son casi tan variadas como los lugares que las producen.

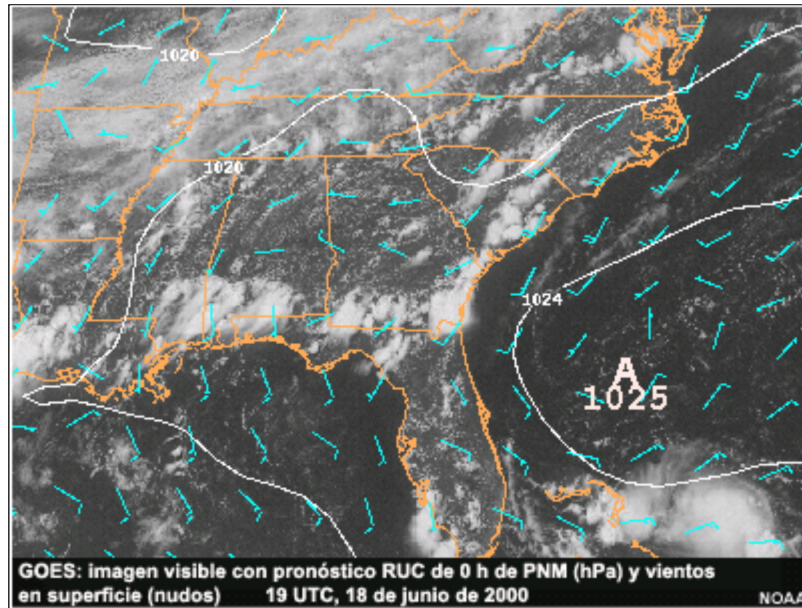


[Haga clic aquí o en la imagen para ver la animación.](#)

Esto significa que para comprender y pronosticar las brisas marinas es preciso tener conocimientos previos del entorno local, incluidos los aspectos tales como la forma de la costa, la posición de valles y montañas, la cobertura del suelo y los patrones climáticos que prevalecen en la escala sinóptica.

Brisas marinas > Descripción general > Ocurrencia

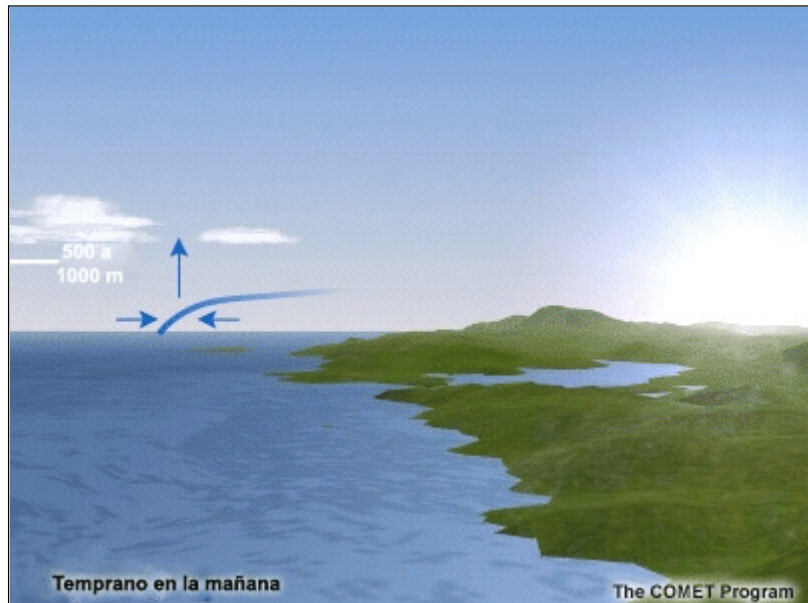
La brisa marina se manifiesta principalmente durante los meses de verano y otoño, cuando el suelo normalmente alcanza una temperatura más elevada que el océano adyacente. La brisa marina es provocada por el calentamiento diferencial del suelo y del océano, y las condiciones sinópticas óptimas para un fuerte calentamiento del suelo favorecen su desarrollo.



Esta animación muestra un ejemplo de este patrón centrado en el sureste de los Estados Unidos. El flujo sinóptico es relativamente débil y las condiciones generalmente despejadas fomentan el calentamiento diurno y enfriamiento nocturno del suelo. Esto produce un ciclo diurno bien definido en lo referente a la velocidad y la dirección del viento.

Brisas marinas > Descripción general > Frente de brisa marina

Dependiendo del lugar, la brisa marina puede afectar en gran medida el desarrollo y la ubicación de la convección, los vientos costeros y la aparición de nieblas y estratos en la costa. Los vientos producidos por la brisa marina alcanzan su intensidad máxima en la zona de avance del gradiente de temperatura. Esta frontera o límite a menudo se parece a un frente frío poco profundo, motivo por el cual nos referiremos al mismo como frente de brisa marina. El avance del frente de brisa marina empuja el aire hacia arriba, creando una zona propicia para el desarrollo de convección bajo condiciones atmosféricas potencialmente inestables.



Conforme avanza el día, el frente de brisa marina penetra tierra adentro, típicamente unos 40 km (~25 millas), aunque se han observado frentes que han alcanzado distancias de 150 a 300 km (100 a 200 millas) bajo condiciones de flujo moderado hacia la costa. El frente de brisa marina se puede mover muy despacio, e incluso puede no formarse en absoluto, si el flujo sinóptico se dirige hacia el mar a una velocidad mayor de aproximadamente 10 nudos.

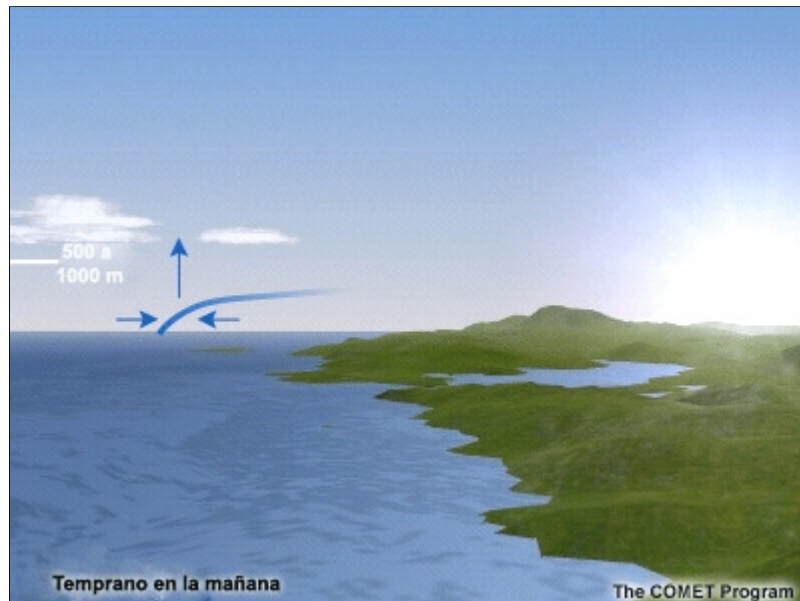
La dirección del viento tierra adentro asociada con la brisa marina se orienta a lo largo del gradiente de presión en superficie, que es perpendicular a la costa. Por lo tanto, en ausencia de un flujo sinóptico o de alguna característica topográfica importante, la dirección del viento de la brisa marina dependerá únicamente de la orientación de la costa.

Circulación básica

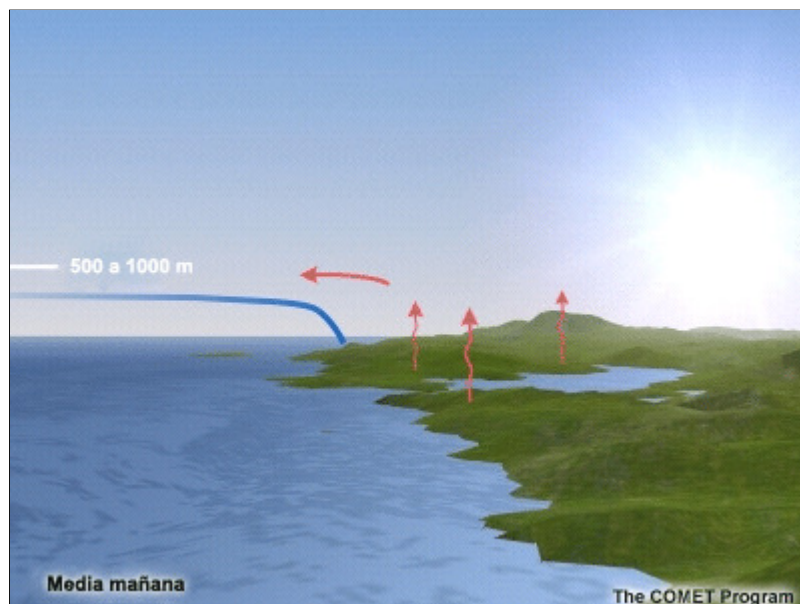
Esta secuencia de imágenes muestra la formación de una brisa marina inmersa en un flujo sinóptico débil a lo largo de un ciclo diurno típico. En una escala menor, el mismo proceso produce las brisas de lago y de río.

Circulación básica > Mañana

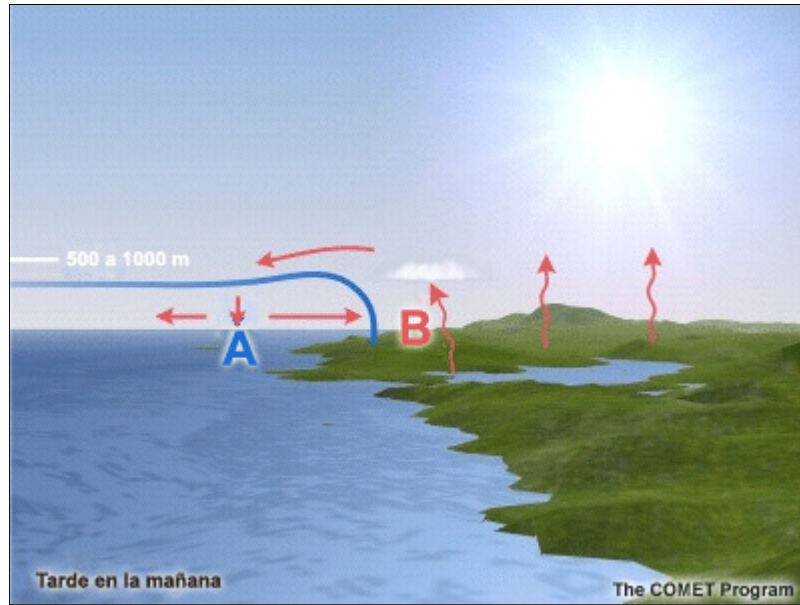
Las brisas marinas suelen formarse y comenzar a moverse tierra adentro entre la media mañana y el mediodía, cuando las temperaturas diurnas en tierra firme superan las del océano adyacente en un promedio de 3 a 6 °C (~6 a 10 °F). Su intensidad es proporcional a la magnitud de la diferencia de temperatura entre el suelo y el mar, y además depende de la dirección y la velocidad del flujo sinóptico prevaleciente.



Como muestran las figuras, un flujo sinóptico débil hacia tierra en los niveles inferiores puede favorecer la formación de la brisa marina y su avance tierra adentro, mientras que, por el contrario, un flujo sinóptico moderado hacia el mar puede oponer resistencia y en algunos casos hasta impedir la formación de la brisa marina por completo.

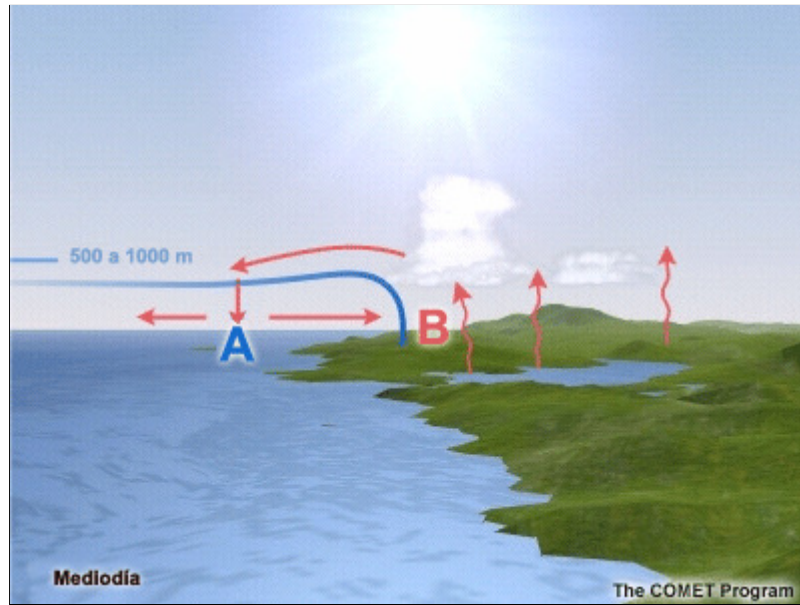


En las regiones como la costa del Golfo de México en EE.UU., durante el período de formación de la brisa marina tienden a prevalecer condiciones de buen tiempo, aunque es común que se formen cúmulos a lo largo del frente de brisa marina. En otras regiones, este mismo período puede coincidir con la disipación de la niebla y las nubes estratos sobre tierra que aún quedan de la noche anterior.



Circulación básica > Mediodía

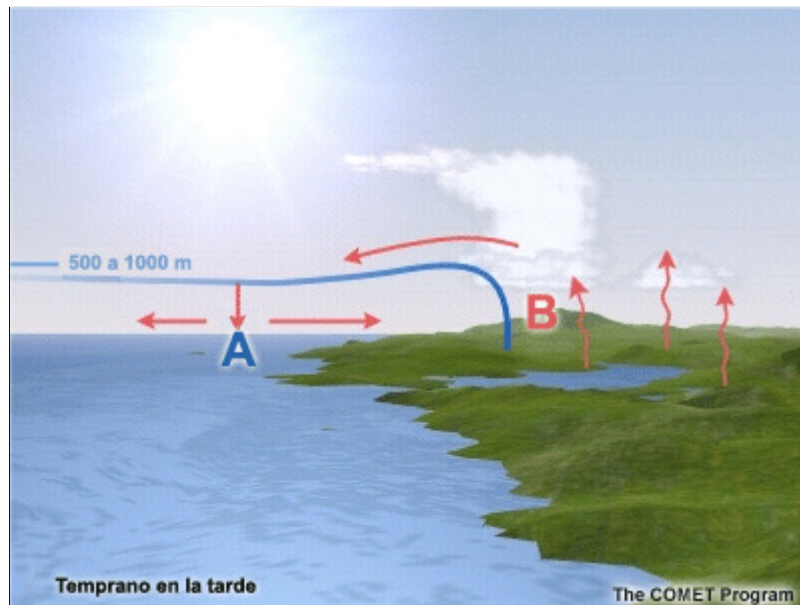
La circulación de brisa marina se intensifica a medida que el calentamiento producido por el sol alcanza su nivel máximo.



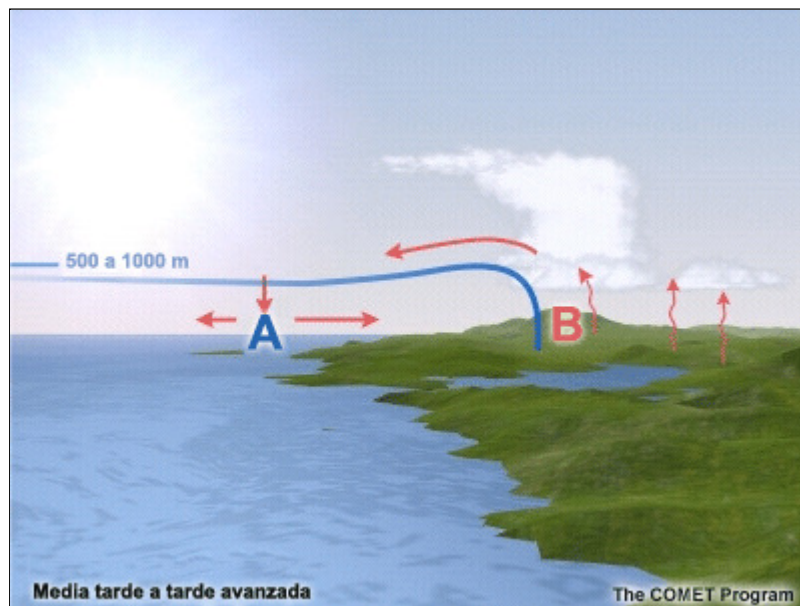
El calentamiento reduce la presión sobre tierra firme en comparación con la presión sobre el agua, lo cual tiene el efecto de aumentar el gradiente de presión. Es común que se formen vientos de 10 a 20 nudos dentro de una capa vertical de unos 150 m (500 pies) de altura y normalmente la circulación completa de la brisa marina alcanza una altura máxima de 450 a 900 m (1500 a 3000 pies) sobre la superficie. Debido a que los ríos y los lagos producen circulaciones más débiles y de menor alcance, las brisas de río y de lago tienden a ser más débiles y su penetración tierra adentro es menor.

Circulación básica > Tarde

Estas circulaciones son más activas después del mediodía, cuando la brisa marina alcanza su máxima penetración tierra adentro y los vientos alcanzan su velocidad máxima.



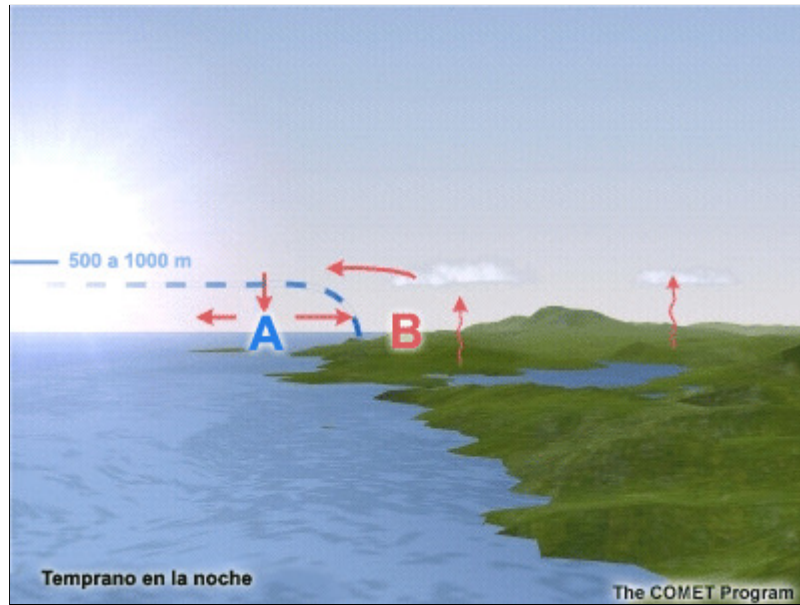
En las regiones que favorecen la convección, es normal observar cúmulos a lo largo del frente de brisa marina y conviene vigilar estas condiciones para detectar el posible desarrollo de un episodio de convección importante. Fíjese bien en las posibles interacciones entre el frente de brisa marina y otras características en superficie, como los frentes de racha, las líneas de convergencia, las zonas de convergencia e incluso otros frentes de brisa marina. El momento vertical adicional que se produce en estas zonas de intersección aumenta considerablemente la probabilidad de que se inicie la actividad convectiva y se desarrollen tormentas más intensas.



En la península de Florida, es normal observar el choque de los frentes de brisa marina provenientes del Atlántico por un lado y del Golfo de México por el otro. En otras regiones, como la costa del Pacífico de EE.UU., este período se caracteriza por vientos fuertes y racheados y la posible advección de estratos marinos hacia tierra firme.

Circulación básica > Noche

Conforme avanza la tarde, las circulaciones producidas por la brisa marina disminuyen lentamente, para desvanecerse por completo una o dos horas después de la puesta del Sol.



Las zonas terrestres se enfrían y el proceso que se desarrolló durante el día se invierte, dando lugar a una circulación de brisa de tierra.



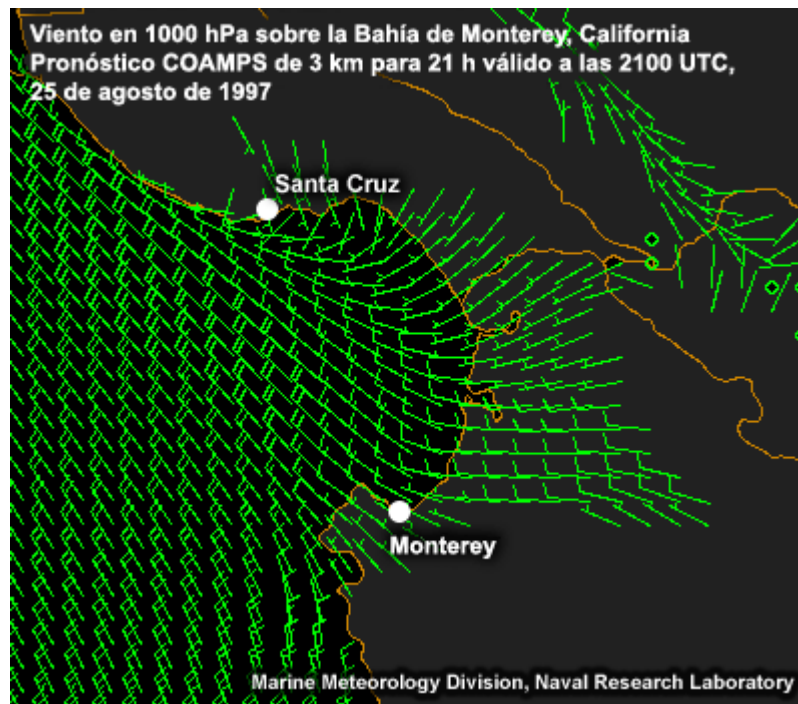
Aunque la brisa de tierra es más débil, se puede desarrollar un frente de brisa de tierra sobre el océano.



En ambientes convectivos, a veces se produce convección nocturna a lo largo del frente de brisa de tierra sobre el océano.

Efectos modificadores > Introducción

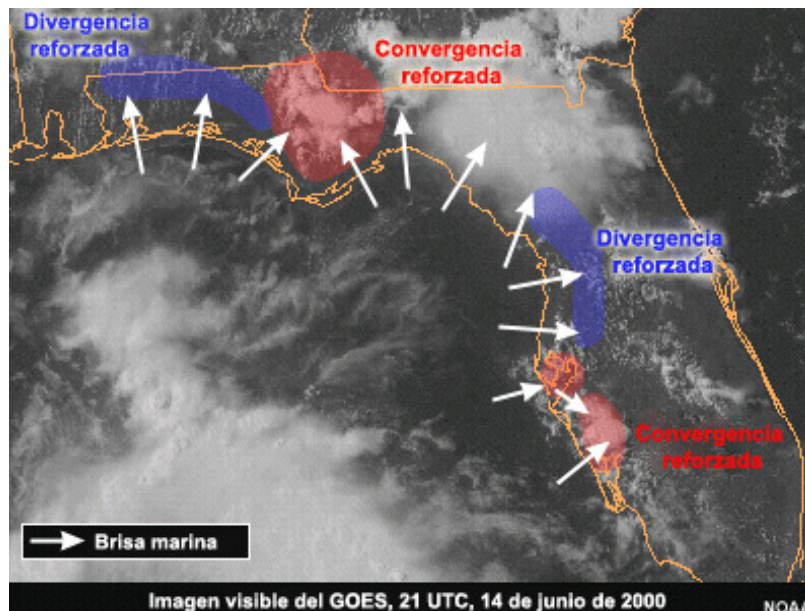
Aunque la circulación básica de la brisa marina descrita en la sección anterior es bastante típica, con frecuencia la naturaleza de la circulación de la brisa marina y su estructura a nivel regional son el producto de varios efectos modificadores.



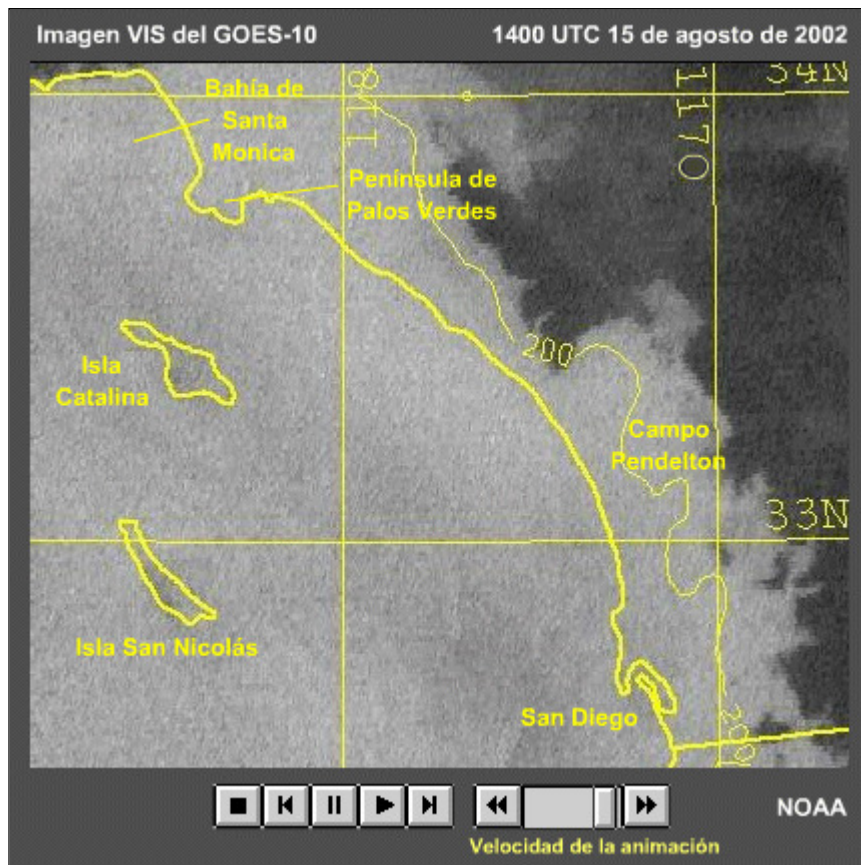
Ciertos factores, como por ejemplo la forma y la orientación del litoral, la existencia de montañas cerca de la costa y la presencia e intensificación de inversiones térmicas en los niveles inferiores, tienden a determinar muchas de las circulaciones locales importantes relacionadas con la brisa marina.

Efectos modificadores > Forma del litoral

Como muestra esta imagen, la forma de la costa puede fortalecer o debilitar la convergencia y la convección a lo largo de un frente de brisa marina. El flujo de aire del mar hacia un litoral de forma cóncava, como una bahía, se vuelve divergente. El flujo divergente impide la convergencia y el ascenso del aire a lo largo del frente de brisa marina. Sin embargo, cuando la costa es convexa el flujo de aire hacia tierra firme se torna convergente, lo cual intensifica la convergencia y el ascenso del aire a lo largo del frente de brisa marina. Los cabos y las puntas son ejemplos de fronteras océano-tierra con forma convexa que a menudo se asocian con un aumento en la convección y las tormentas.



Aunque claramente la geometría de la costa es un factor importante que impulsa la convección en atmósferas inestables, los fenómenos de divergencia y convergencia en superficie inducidos por la brisa marina pueden ocurrir en cualquier ambiente. A lo largo de la costa del Pacífico de EE.UU. es común encontrar una capa límite marina poco profunda debajo de una intensa capa de inversión en los niveles inferiores. Con estas condiciones atmosféricas, los estratos y la niebla marina tienden a disiparse primero en las regiones donde se refuerza la divergencia, tanto sobre tierra firme como sobre el mar. Por otro lado, en las regiones donde se refuerza la convergencia, pueden producirse estratos marinos persistentes, ya que el movimiento vertical inducido no es capaz de penetrar la fuerte capa de inversión de bajo nivel.

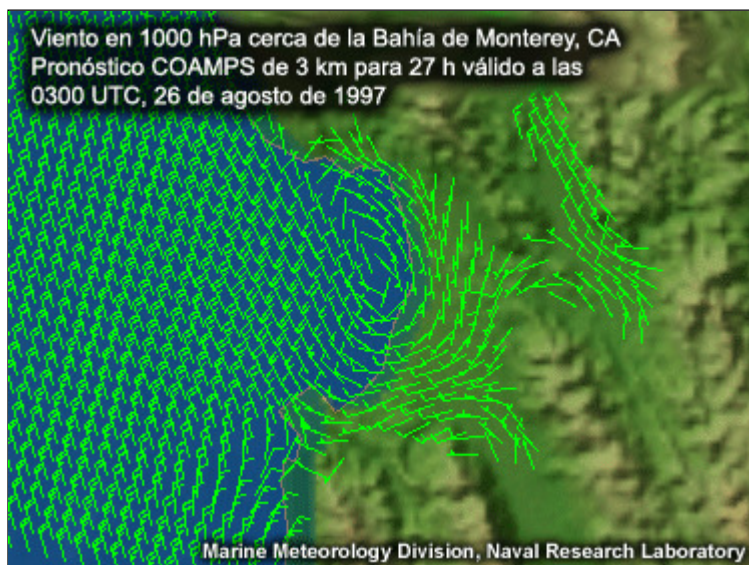


[Haga clic aquí o en la imagen para ver la animación.](#)

En esta animación podemos observar que la nubosidad se disipa primero en las zonas situadas sobre los litorales cóncavos. También se nota un mayor grado de desarrollo de estratos cerca de la península de Palos Verdes y también más al sur, cerca de San Diego.

Efectos modificadores > Terreno

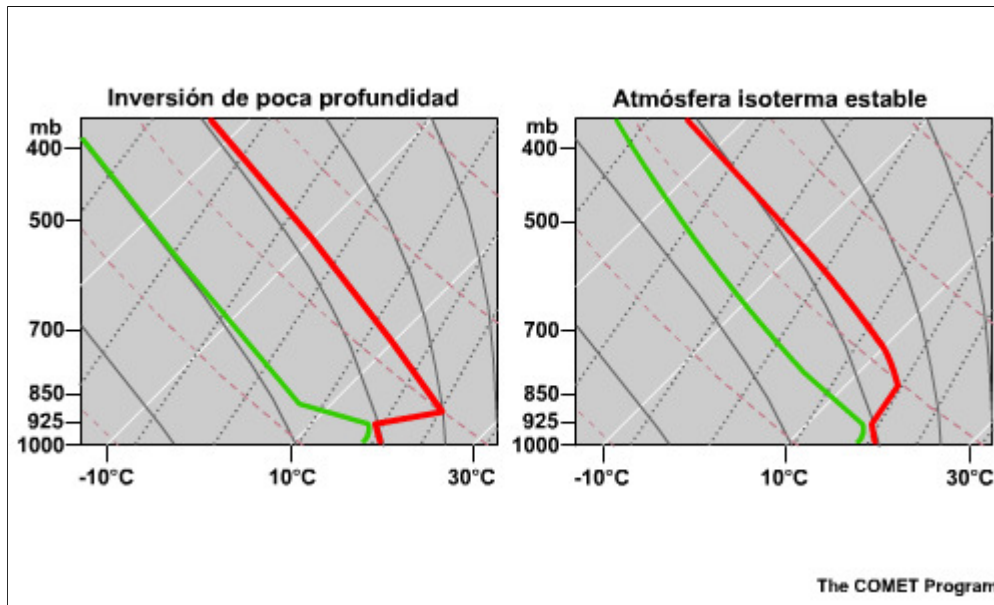
El terreno o las montañas en la costa desempeñan un papel importante en el desarrollo de las brisas marinas. Las montañas y sus valles generan circulaciones montaña-valle que se suman a la brisa marina y pueden contribuir a su desarrollo temprano. Las montañas y los valles tienden a determinar la distribución del calentamiento diurno y las zonas donde el frente de brisa marina puede avanzar. Después del mediodía, las zonas de aire caliente que se forman en los valles alejados de la costa tienden a arrastrar la brisa marina tierra adentro.



Esta animación de la evolución del viento en la Bahía de Monterey ilustra el concepto que acabamos de describir. Durante las primeras horas de sol, el viento empieza a desarrollarse a lo largo del litoral de manera muy similar al patrón típico de la brisa marina. Sin embargo, llegada la tarde los vientos soplan casi directamente del oeste en toda la bahía como consecuencia del calentamiento más intenso que se ha producido al este de la Bahía de Monterey. También se nota un fuerte flujo hacia el sureste a través del Valle de Salinas, también producto del intenso calentamiento que se ha producido en esta región. Esta influencia de las montañas costeras sobre el patrón de calentamiento se intensifica debido a la capa de inversión de bajo nivel que impide que los vientos frescos de la brisa marina se desplacen por encima de las montañas y enfríen las zonas del interior.

Efectos modificadores > Efectos del calentamiento de la superficie

Las capas de inversión localizadas en los niveles inferiores de la atmósfera juegan un papel muy importante en el desarrollo de las brisas marinas. La capa de inversión tiende a limitar la extensión vertical del calentamiento a una capa poco profunda, lo cual suele reducir la intensidad de la brisa marina.



Haga clic aquí o en la imagen para ver la animación.

Esta animación compara dos sondeos hipotéticos. El de la izquierda muestra una fuerte capa de inversión en los niveles inferiores, aproximadamente en el nivel de 950 hPa, mientras que el de la derecha muestra una atmósfera estable e isoterma hasta el nivel de 850 hPa. Si la superficie alcanza una temperatura de 30 °C, en el sondeo de la izquierda la capa de aire se calentará hasta una altitud de 950 hPa, pero sólo hasta 850 hPa en el sondeo de la derecha, y la presión a nivel del mar bajará más en el sondeo de la derecha que en el de la izquierda. Por lo tanto, podemos esperarnos el desarrollo de una brisa marina más intensa con un sondeo como el de la derecha. De hecho, puede producirse un gradiente de presión más intenso en un día con un aumento de temperatura más modesto pero más profundo. Esto significa que la brisa marina puede ser más intensa en días con un leve calentamiento de una capa profunda que en días con un fuerte calentamiento de una capa de poca extensión vertical.

Efectos modificadores > Inversiones

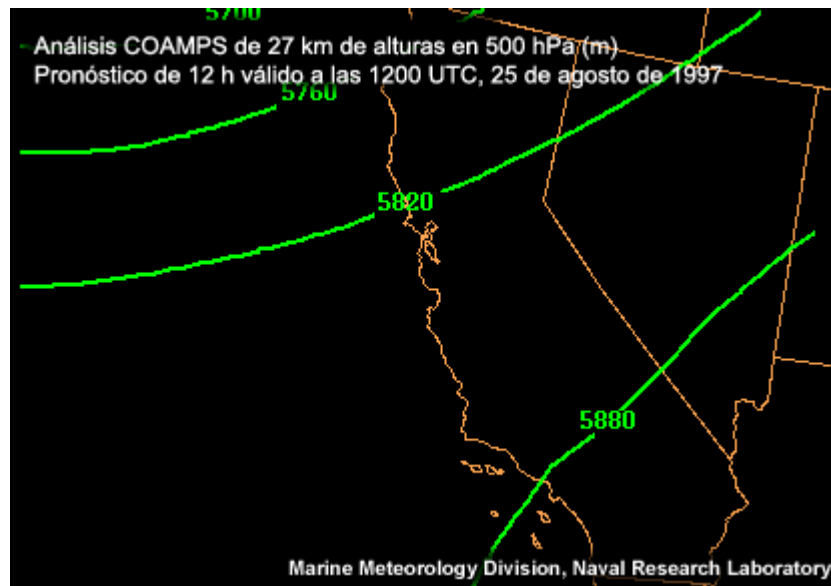
Las capas de inversión también juegan un papel importante en otros aspectos de la brisa marina. En ambientes inestables, la presencia de una inversión puede producir un efecto "de tapadera" que inhibe el desarrollo de la convección. La inversión limita el ascenso de las parcelas de aire que se debe a la diferencia de presión entre las parcelas y la atmósfera que las rodea. El levantamiento provocado por una brisa marina puede no ser suficiente para atravesar la capa de inversión e iniciar un proceso convectivo.

La inversión también puede ser de gran importancia por atrapar la humedad y favorecer el desarrollo de niebla y estratos. Por ejemplo, sobre la costa del Pacífico de EE.UU. es común observar una fuerte capa de inversión en los niveles inferiores en combinación con una capa límite marítima casi saturada. Con frecuencia, el proceso de enfriamiento y/o el ascenso de la capa límite provoca la formación de niebla y estratos en la costa.

Efectos modificadores > Condiciones sinópticas

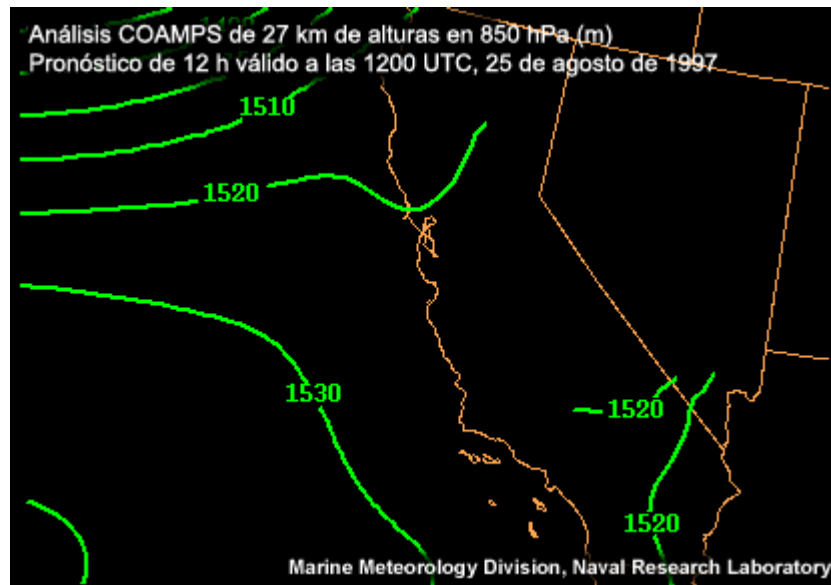
Pese a que por lo general un forzamiento sinóptico débil es favorable para la formación de la brisa marina, dependiendo de la dirección del viento es posible encontrar brisas marinas bajo la influencia de flujos sinópticos relativamente fuertes.

Estas figuras muestran las condiciones que se presentan sobre la costa de California que permiten el desarrollo de brisa marina aún bajo la influencia de un fuerte flujo a lo largo de la costa.



Si empezamos a analizar las condiciones atmosféricas en altura, cerca del nivel de 500 hPa observamos un gradiente de presión débil ubicado sobre el océano, una condición atmosférica que puede producir vientos flojos del suroeste de menos de 25 nudos y valores de humedad relativa inferiores al 50 % en la costa de California central. Esta situación atmosférica en altura fomenta condiciones despejadas.

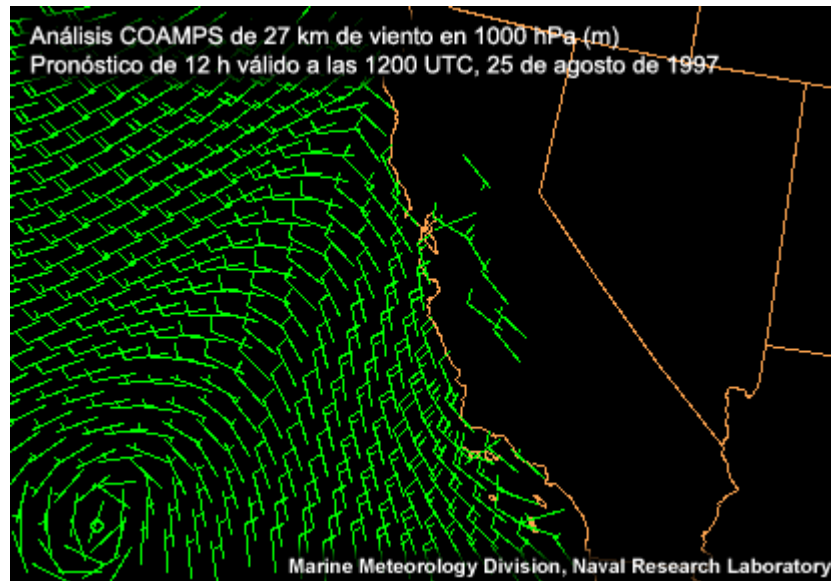
Efectos modificadores > 850 hPa



El análisis en 850 hPa muestra el eje de una dorsal con una orientación NNE-SSO ubicado mar adentro, lejos de la costa, y una vaguada débil sobre la costa de California.

Efectos modificadores > 1000 hPa

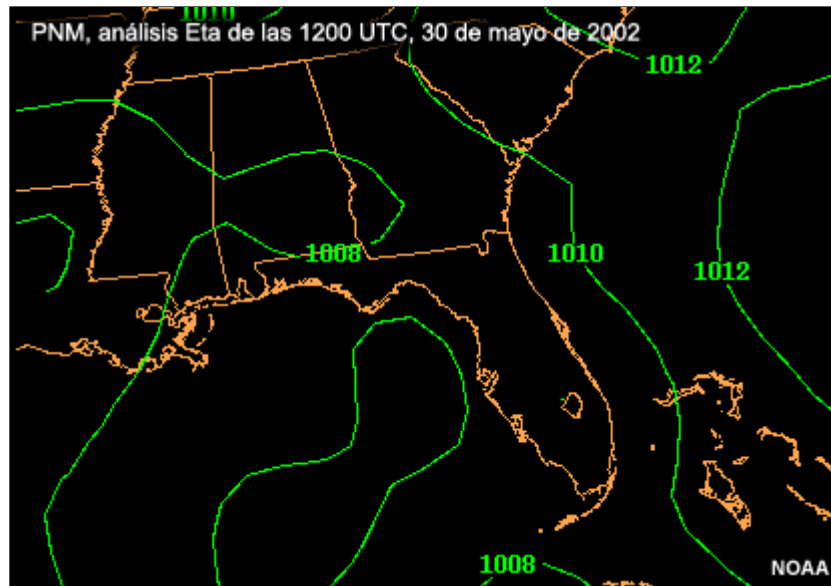
La dorsal en los niveles inferiores sobre el océano es responsable del flujo del noroeste a velocidades de 20 a 25 nudos a lo largo de la costa de California central, como lo pronostica el modelo COAMPS en 1000 hPa. Bajo estas condiciones sinópticas, la brisa marina se manifiesta como un cambio diurno de los vientos en los niveles inferiores conforme la brisa interactúa con el flujo a lo largo de la costa.



El desarrollo de la brisa marina se ve favorecido cuando el patrón de escala sinóptica presenta una alta presión sobre el océano y una baja presión sobre tierra. Un patrón de este tipo favorece el flujo hacia o paralelo a la costa y la brisa marina se puede desarrollar durante el día conforme el suelo se calienta. Cuando la alta presión se ubica sobre tierra firme y la baja presión sobre el océano, suele organizarse un flujo hacia el mar y se necesita un calentamiento terrestre muy fuerte para que se produzca la brisa marina. Normalmente se necesitan flujos hacia el mar inferiores a 10 nudos para que pueda desarrollarse una brisa marina bajo las condiciones que acabamos de describir.

Caso de estudio: Florida, 30 de mayo de 2002 > Estructura sinóptica > Presión a nivel del mar

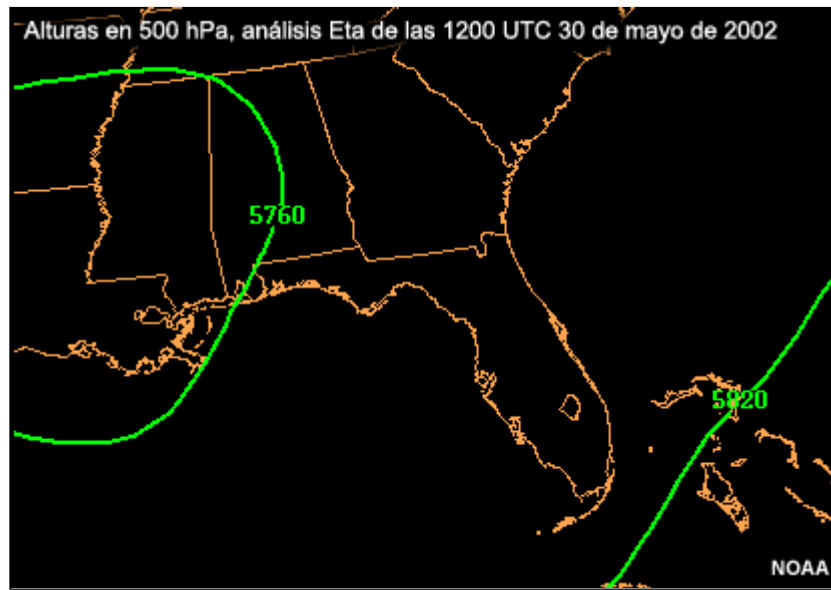
Vamos a examinar un caso típico de brisa marina sobre la península de Florida que ocurrió el 30 de mayo de 2002. La región se caracteriza por una topografía poco accidentada, temperaturas cálidas de superficie del mar y la presencia de una masa de aire cálido y húmedo.



La condición sinóptica para este día en particular es calma. Cerca de la superficie se observan gradientes de presión débiles y vientos del norte no muy fuertes. Hay una baja segregada débil muy hacia el oeste, pero tiene poca influencia sobre la península de Florida.

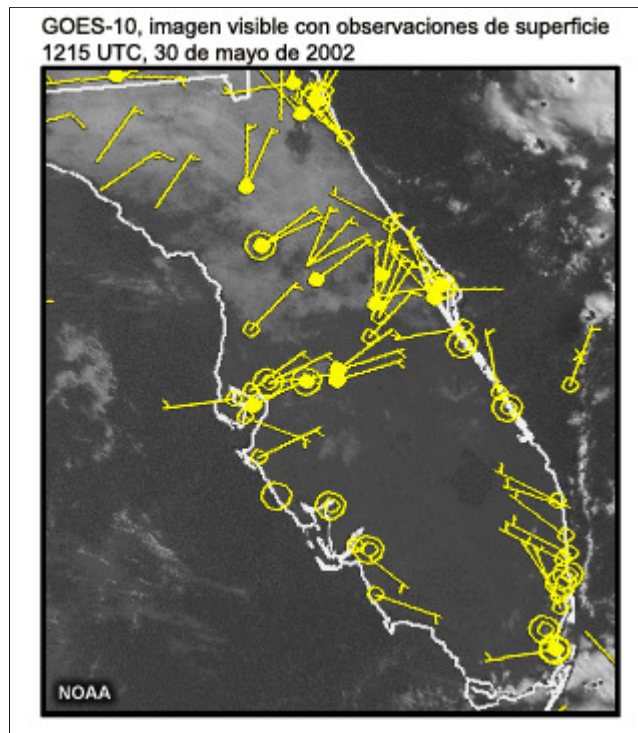
Caso de estudio: Florida, 30 de mayo de 2002 > Estructura sinóptica > 500 hPa

En altura, en el nivel de 500 hPa, se observa un patrón calmo similar al anterior, con un sistema de baja presión débil hacia el noroeste y gradientes de presión débiles sobre la región de interés.



Caso de estudio: Florida, 30 de mayo de 2002 > Observaciones satelitales y de superficie > 1215 UTC

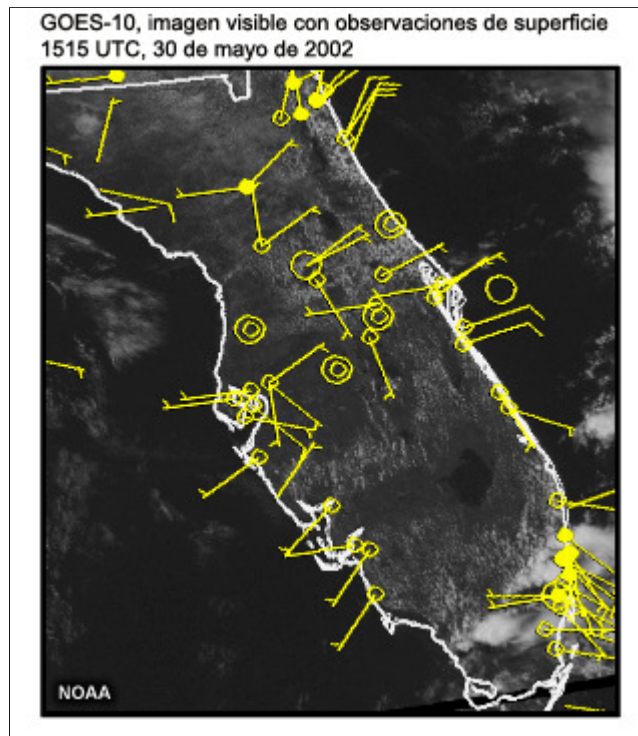
En esta serie de imágenes satelitales tomadas con el canal visible del GOES-10 se han superpuesto las observaciones de superficie disponibles.



La secuencia de imágenes empieza a las 1215 UTC, justo cuando el Sol se levantaba en el horizonte y la superficie terrestre empezaba a calentarse. En ese momento, la mitad norte de la península de Florida mostraba un flujo sinóptico débil del noroeste y un poco de nubosidad en los niveles medios, probablemente los vestigios de la actividad convectiva del día anterior. En la región sur de la península predominaban cielos despejados. A lo largo de la costa sureste de la península, aún es evidente la brisa de tierra, con un poco de convergencia y una línea de cúmulos sobre el océano.

Caso de estudio: Florida, 30 de mayo de 2002 > Observaciones satelitales y de superficie > 1515 UTC

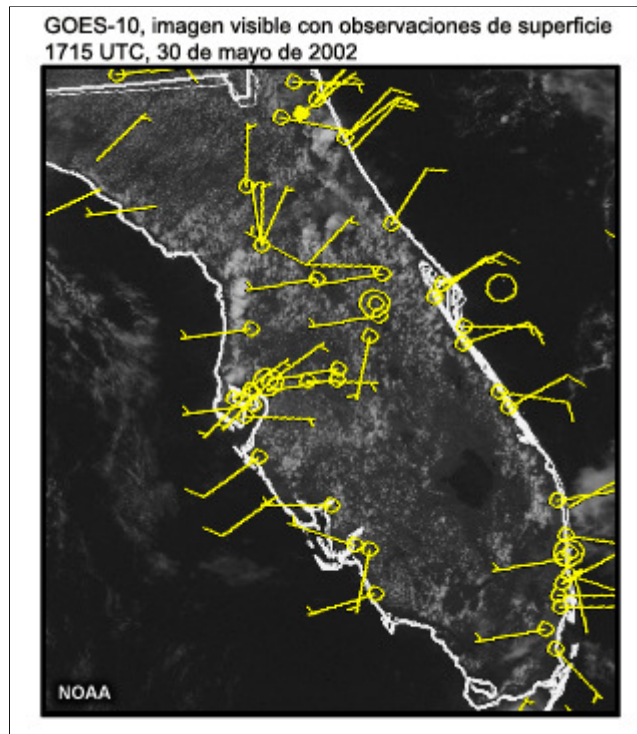
A las 1515 UTC, un flujo hacia la costa entre débil y moderado define el inicio de la brisa marina sobre casi toda la costa de Florida.



Las brisas son un poco más fuertes sobre la costa del Atlántico, donde el flujo sinóptico contribuye a intensificarlas. Se han formado varias células convectivas sobre el extremo sur de la península, posiblemente debido a los vientos salientes asociados con la convección sobre el océano al este de la costa. En otras áreas de la península se están desarrollando campos de cúmulos de buen tiempo.

Caso de estudio: Florida, 30 de mayo de 2002 > Observaciones satelitales y de superficie > 1715 UTC

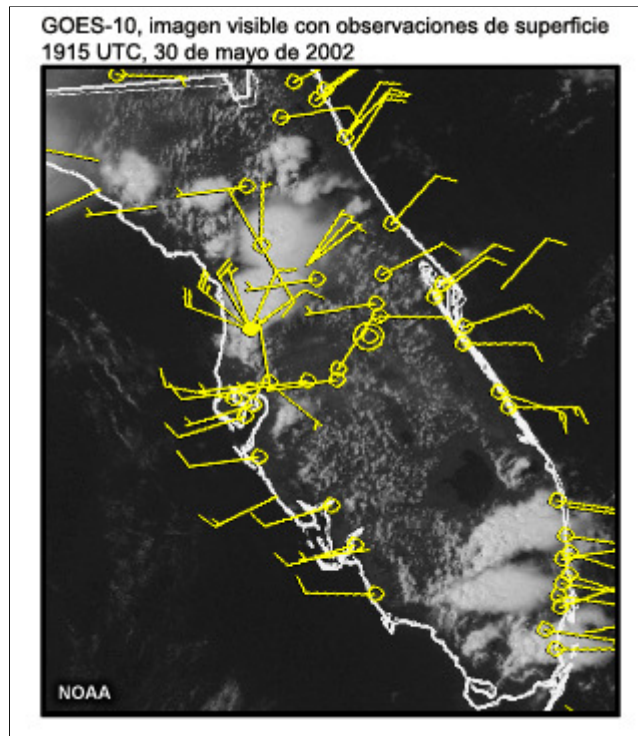
A las 1715 UTC, los vientos hacia la costa son generalmente un poco más fuertes y mejor organizados. Parecen haberse formado cúmulos justo al interior del litoral en ambas costas de la península, tal como sería de esperar en las etapas iniciales del desarrollo de un frente de brisa marina.



En algunas zonas los cúmulos han evolucionado hasta alcanzar el estado de nubes congestus de gran altura. La energía potencial convectiva disponible (CAPE) se libera conforme el calentamiento y la convergencia ayudan a superar la inhibición convectiva producto de la inversión matutina.

Caso de estudio: Florida, 30 de mayo de 2002 > Observaciones satelitales y de superficie > 1915 UTC

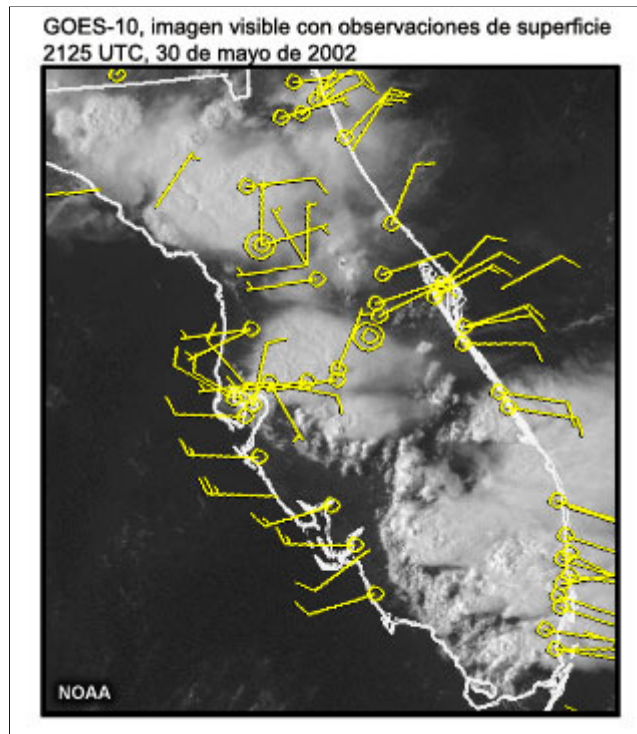
A las 1915 UTC, la tendencia anterior continúa y la brisa marina se intensifica. La línea de convergencia adquiere mayor definición conforme avanza lentamente tierra adentro. Es normal observar vientos en superficie de 10 a 15 nudos, y en ocasiones hasta de 20 nudos.



El proceso convectivo sobre el noroeste sigue intensificándose y el flujo saliente asociado ha eliminado las características de la brisa marina en esta región. A las 1915 UTC, se ha desarrollado rápidamente una fuerte convección sobre el sureste de la península, posiblemente debido, al menos en parte, a la convergencia producida por la brisa marina.

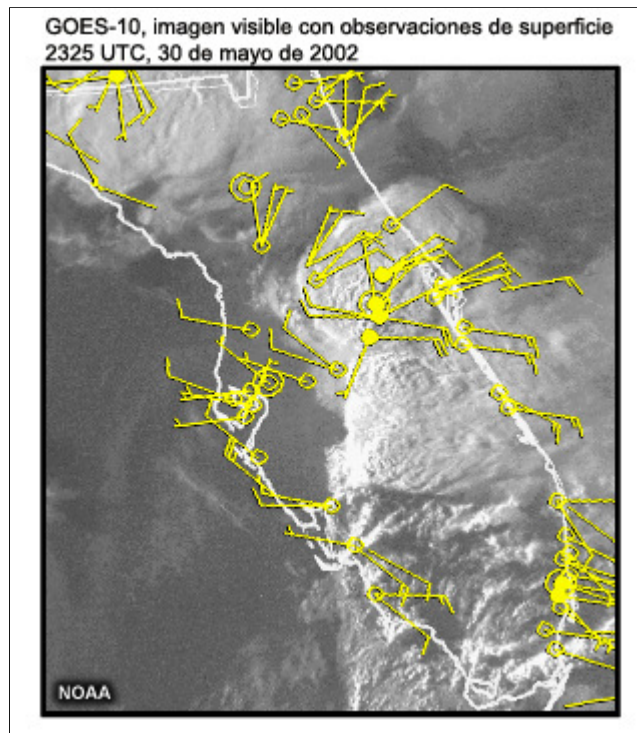
Caso de estudio: Florida, 30 de mayo de 2002 > Observaciones satelitales y de superficie > 2115 UTC

A las 2125 UTC, la velocidad del viento hacia tierra varía de 10 a 20 nudos sobre toda la costa y se han formado varias zonas de fuerte convección, la mayoría en el interior de la península. Tenga presente que con toda probabilidad en muchos lugares las observaciones de vientos en la costa se ven afectadas por los vientos asociados a las celdas convectivas.



Caso de estudio: Florida, 30 de mayo de 2002 > Observaciones satelitales y de superficie > 2315 UTC

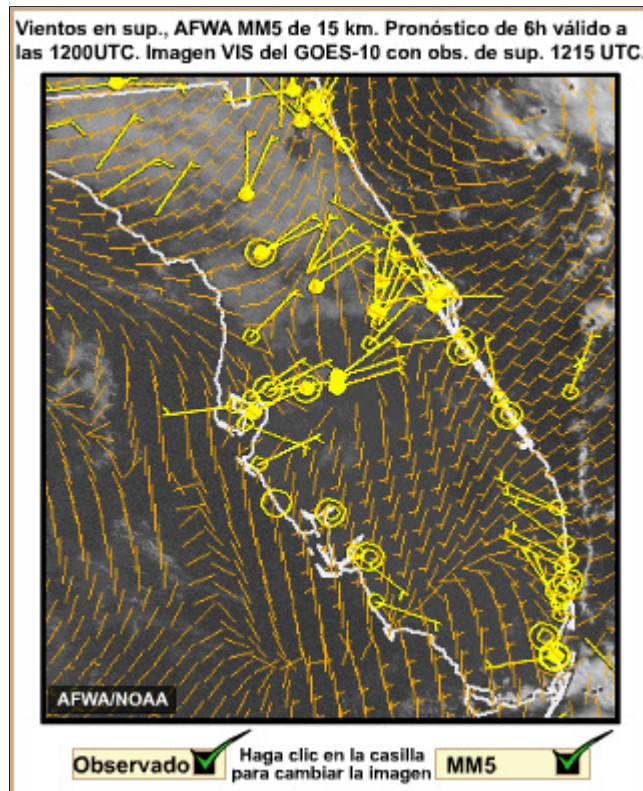
A las 2325 UTC, varios complejos convectivos siguen intensificándose y la velocidad del viento hacia tierra se mantiene en el rango de 10 a 25 nudos.



Observe que estos fenómenos convectivos se mantienen por mucho más tiempo que las celdas convectivas observadas horas antes; es probable que esto también sea un efecto del flujo hacia tierra inducido por la brisa marina.

Simulación del modelo AFWA MM5 > Introducción

Estudiamos ahora el caso de Florida con un pronóstico generado por el modelo numérico AFWA MM5. Ese día se hubiera utilizado el ciclo de ejecución del modelo con una resolución de 15 km que se inició a las 0600 UTC del 30 de mayo. Vamos a considerar los pronósticos de vientos en superficie para la Florida a intervalos de 3 horas a partir del pronóstico de seis horas de las 1200 UTC.

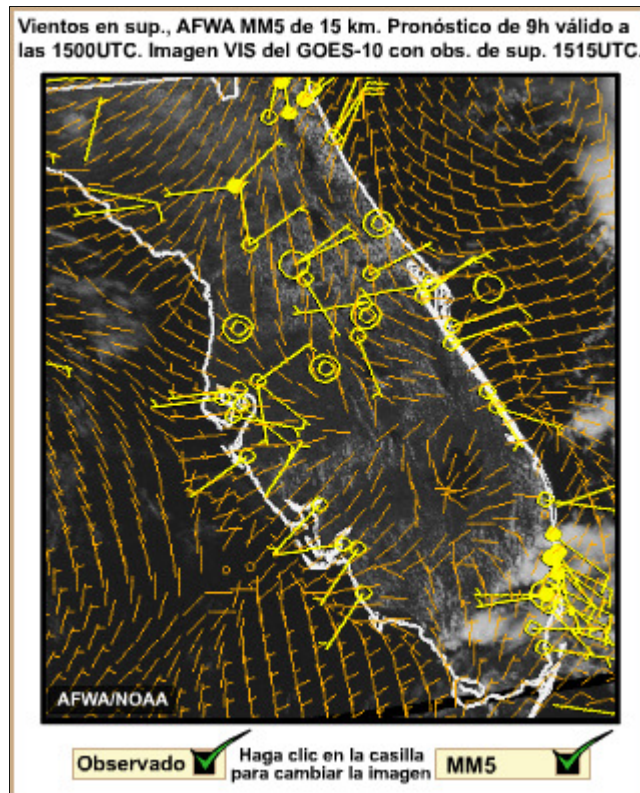


[Haga clic aquí o en la imagen para ver la animación.](#)

A las 1200 UTC, el modelo pronosticaba vientos calmos en toda la Florida. En el norte, el flujo sinóptico general pronosticado provenía del noreste, mientras que en el sur se observaba una leve brisa de tierra. Esta predicción coincide en medida razonable con las observaciones.

Simulación del modelo AFWA MM5 > 1500 UTC del 30 de mayo de 2002

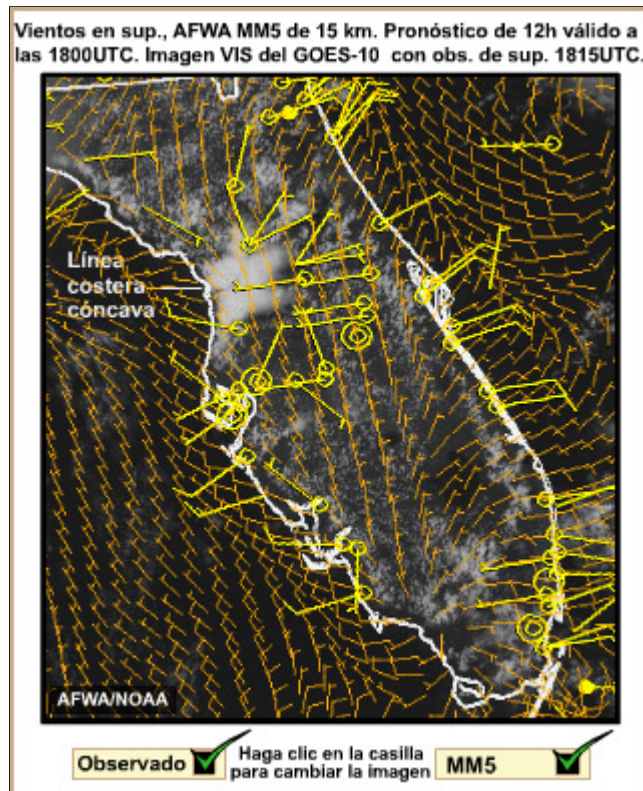
A las 1500 UTC se han desarrollado vientos leves hacia tierra, principalmente a lo largo de la zona central de la costa occidental de la península. Sin embargo, el modelo muestra poco flujo hacia tierra en la costa oriental, pese a que las observaciones de superficie muestran claramente el inicio de la brisa marina.



[Haga clic aquí o en la imagen para ver la animación.](#)

Simulación del modelo AFWA MM5 > 1800 UTC del 30 de mayo de 2002

A las 1800 UTC, en el pronóstico del modelo MM5 es evidente un flujo más fuerte y más generalizado hacia tierra. En la costa oriental es común un flujo de 5 a 10 nudos que penetra 15 a 20 km tierra adentro. Mientras tanto, en la costa occidental también prevalecen vientos de 5 a 10 nudos, con convergencia en o cerca de la costa.

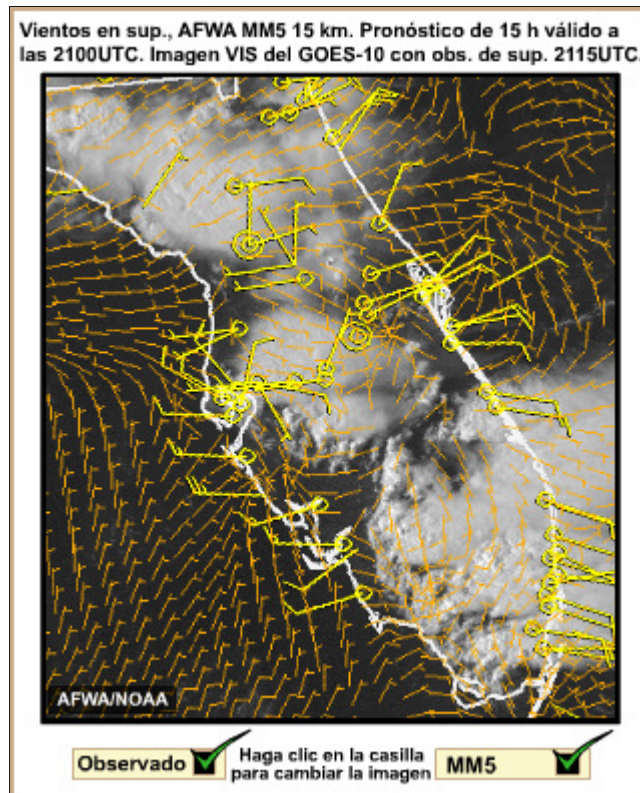


[Haga clic aquí o en la imagen para ver la animación.](#)

En ciertas áreas de la costa occidental es evidente que el flujo no es perpendicular al litoral. Esto no concuerda con las observaciones, que muestran vientos casi perpendiculares a la costa. Sin embargo, la predicción del modelo de la difluencia en las áreas donde la costa es cóncava coincide muy bien con las observaciones terrestres.

Simulación del modelo AFWA MM5 > 2100 UTC del 30 de mayo de 2002

A las 2100 UTC, se mantiene el patrón general sobre la mitad norte de la península, con un flujo general hacia la costa que se extiende poca distancia hacia el interior en ambas costas de la península. Sin embargo, el modelo pronostica flujos entre 5 y 10 nudos menos fuertes de lo que se observa en la superficie.

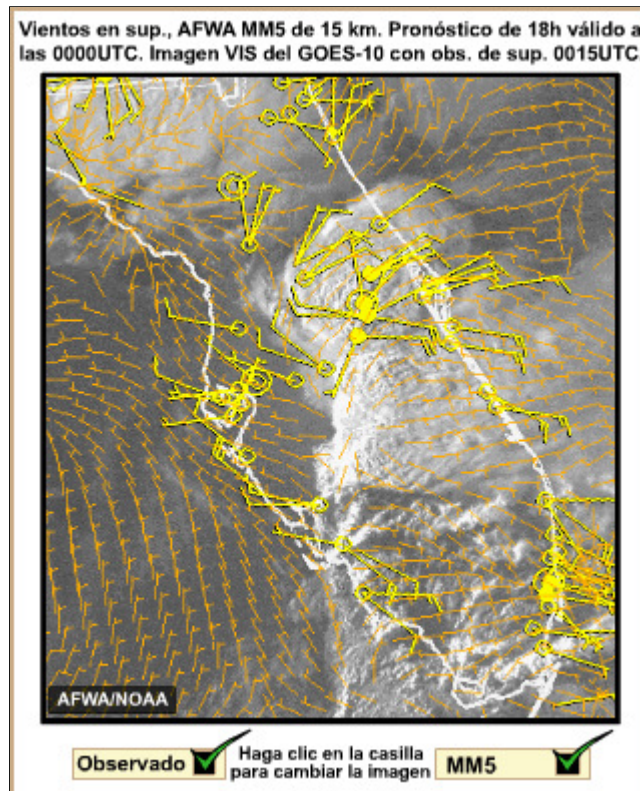


Haga clic aquí o en la imagen para ver la animación.

La convección que genera el modelo empieza claramente a afectar, o incluso a dominar, el patrón del flujo sobre la mayor parte de la región sur, lo que parece ocultar los patrones típicos de la brisa de mar. De hecho, el modelo predice flujo hacia el mar sobre toda la costa occidental al sur de Tampa.

Simulación del modelo AFWA MM5 > 0000 UTC del 30 de mayo de 2002

En la simulación, a las 0000 UTC la mayoría de los vientos de la costa oriental todavía soplan hacia tierra, pero la dirección de los vientos a lo largo de la costa occidental es muy variable. Esta variabilidad puede reflejar el período de transición entre la brisa marina diurna y la brisa de tierra nocturna, ya que las 0000 UTC representan el momento justo después del anochecer.



[Haga clic aquí o en la imagen para ver la animación.](#)

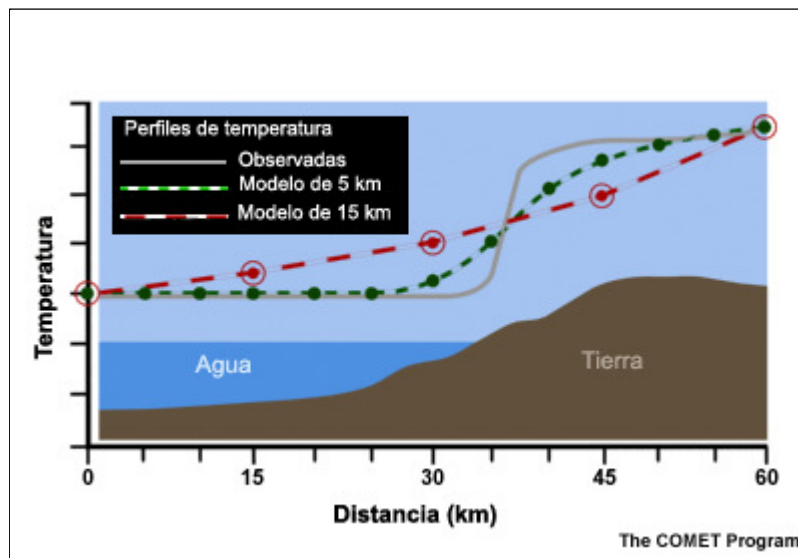
Sin embargo, pese a la presencia de esta variabilidad, la mayoría de los vientos pronosticados por el modelo coinciden muy bien con las observaciones de superficie. Observe en particular como el modelo pronostica la zona de convergencia que se extiende sobre una franja localizada cerca del centro de la península. Esta franja coincide muy bien con la región de convección que se forma en esa zona. Al igual que en los pronósticos anteriores, el modelo subestima la velocidad del viento entre 5 y 10 nudos.

Conclusiones > Resolución del modelo: gradientes de temperatura

He aquí una pregunta fundamental: ¿cabe esperar que los modelos de mesoescala pronostiquen la brisa marina bajo condiciones sinópticas favorables, como vientos débiles y cielo despejado?

La respuesta depende de la resolución del modelo. El modelo coloca una masa de aire frío sobre el agua junto a una masa de aire caliente seco sobre tierra, lo cual siempre producirá una brisa marina, independientemente del modelo y la resolución que se usen. El problema se debe formular en términos de la intensidad y el lugar en donde se desarrollará el fenómeno.

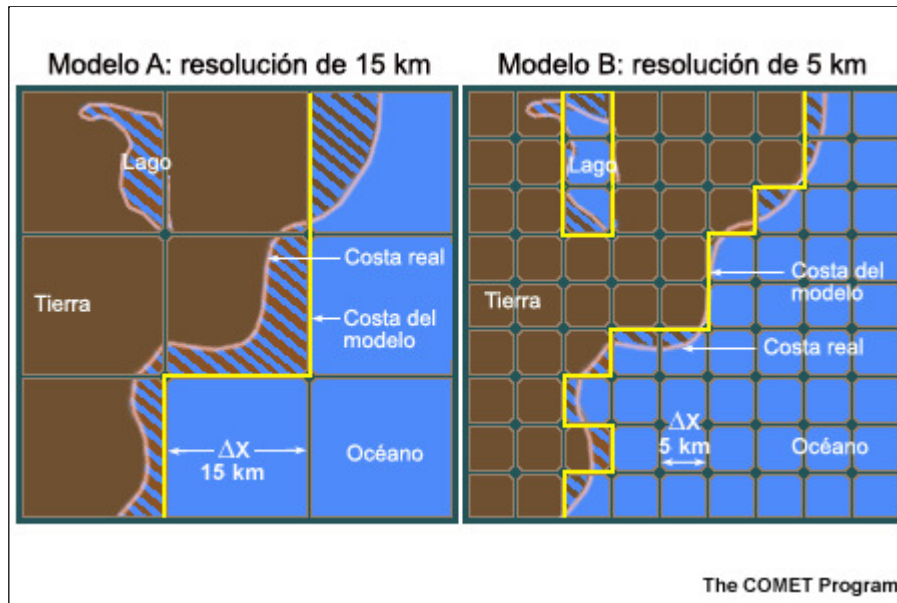
En el ejemplo anterior de la península de Florida, el modelo pronosticó la brisa marina, pero subestimó tanto la intensidad de los vientos hacia tierra como la convergencia durante todas las fases de la brisa marina. Para este ciclo de ejecución del modelo en particular se empleó una malla de 15 km de resolución. Recordará que uno de los principios básicos de la predicción numérica del tiempo es que los modelos sólo pueden resolver las características que abarcan un mínimo de cuatro celdas de malla, lo cual en este caso corresponde a una distancia de 60 km. En realidad, el gradiente sobre la costa abarca distancias muy cortas, del orden de unos pocos kilómetros. Para poder capturar con exactitud esta diferencia de temperatura, un modelo de PNT tendría que ejecutarse a una resolución de unos pocos kilómetros (aproximadamente 2 a 5 km).



Aunque el modelo es capaz de distinguir la diferencia de temperatura, la manipula en forma numérica como si abarcara varias celdas de la malla. Como resultado, el modelo "cree" que el gradiente de temperatura es más débil de lo que es en realidad. Los gradientes de temperatura más débiles llevan a gradientes de presión más débiles que, a su vez, producen vientos más débiles.

Conclusiones > Resolución del modelo: forma del litoral

Otro error relacionado con la resolución del modelo se debe a representación de la costa en el modelo, ya que cada celda de la malla se define como agua o tierra. Con una resolución de 15 km, la forma y la orientación de la costa se representan de forma muy tosca. Esta discrepancia con la realidad contribuye a los errores en la orientación e intensidad de la brisa marina.



Desafortunadamente, los vientos producidos por la convección dominan los campos de viento en muchos lugares, tanto en las simulaciones del modelo como en las observaciones de superficie. Como el pronóstico de la convección y sus correspondientes áreas de subsidencia en los modelos dista mucho de ser perfecto, en la mayoría de los sitios los vientos provocados por la convección dificultan enormemente la comparación de los resultados del modelo con las observaciones de los vientos de brisa marina en la superficie.

Conclusiones > Resumen

En términos generales, el modelo logra manejar el calentamiento de la península producto de la radiación solar y el flujo diurno hacia tierra asociado con dicho calentamiento. Sin embargo, el modelo no maneja bien ni el lugar exacto donde se desarrolla la convergencia de los vientos, ni la magnitud de dicho fenómeno. Es más, es probable que haya grandes errores hasta en las características generales que describen al fenómeno cuando la convección afecta fuertemente los vientos locales. Por consiguiente, el pronóstico de brisa marina del modelo resulta de mayor utilidad para el ambiente previo a la convección y las zonas que no se ven afectadas por los frentes o flujos de viento producto de los fenómenos convectivos. En resumen, el modelo con resolución de 15 km puede alertarnos frente al posible desarrollo de una brisa marina, pero no puede estimar los detalles del viento o de la convergencia.

Desde una perspectiva operativa, es importante analizar las variaciones diarias en los ciclos de ejecución del modelo. Por ejemplo, la cobertura nubosa suprime el contraste entre mar y tierra, y los vientos sinópticos fuertes pueden transportar la brisa marina tierra adentro o, por el contrario, impedir que penetre hacia el interior. En comparación con el pronóstico usual, con una resolución de 15 km el modelo captura estas variaciones. Sin embargo, será preciso contar con conocimientos previos de las condiciones locales, la climatología del lugar y el comportamiento del modelo. Con estos conocimientos, incluso un pronóstico imperfecto puede ser de gran utilidad si se "calibra" de acuerdo con un escenario específico.

Pronóstico de brisas marinas

Puede imprimir esta página para referencia futura.

Las brisas marinas plantean una serie de retos de pronóstico en las zonas costeras, especialmente cuando se trata de definir los detalles de las características de los vientos y de la capa límite.

Aspectos críticos del pronóstico

- *Desarrollo de tormentas:* el peligro más severo asociado con las brisas marinas es el desarrollo de tormentas eléctricas.
- *Visibilidad, nubosidad y características de la capa de inversión:* la visibilidad puede verse reducida en la masa de aire más frío detrás de un frente de brisa marina. Aunque cierta nubosidad en los niveles inferiores está asociada con estas masas de aire frío, es posible que no se forme hasta que la temperatura baje lo suficiente durante el enfriamiento nocturno.
- *Velocidad, ráfagas y cambios repentinos en la dirección del viento:* las ráfagas de viento son más fuertes y más notorias cerca del frente de brisa marina. Los cambios en la dirección del viento están asociados con el paso del frente de brisa marina.
- *Penetración del frente de brisa marina:* las estaciones meteorológicas dentro de una distancia de 40 km (25 millas) de la costa tienen mayores probabilidades de detectar un frente de brisa marina.

Factores importantes

- *Grado de calentamiento:* el desarrollo de una diferencia de temperatura suficiente entre agua y tierra es un factor esencial para el desarrollo de la brisa marina y de cualquier otra circulación similar. Típicamente, esta diferencia de temperaturas debe ser mayor que 3 °C (~6 °F), salvo bajo condiciones sinópticas muy débiles.
- *Distribución del calentamiento:* la distribución del calentamiento, tanto en sentido horizontal como vertical, establece las características detalladas de la brisa marina. Esta distribución del calentamiento depende de las condiciones ambientales, como el tipo de suelo, la cobertura nubosa y la estabilidad estática en los niveles inferiores.
- *Flujo de escala sinóptica:* los vientos de la brisa marina son forzados en sentido perpendicular a la costa, pero la dirección real de los vientos puede variar debido al flujo de escala sinóptica dentro del cual se desarrolla la brisa marina. Los flujos de viento hacia el mar inferiores a 10 nudos tienden a intensificar el frente de brisa marina y a aumentar los vientos cerca del frente, pero no permiten el avance del frente tierra adentro. Los flujos hacia tierra tienden a transportar aire más frío al otro lado de la costa y a menudo ocultan cualquier indicio de frente de brisa marina, que tiende a penetrar a mayor distancia tierra adentro.

Herramientas para el pronóstico

1. Datos de superficie
 - Analice las tendencias de la temperatura en las zonas sobre tierra y sobre el mar; la probabilidad de desarrollo de brisa marina es alta si la temperatura del suelo supera la temperatura del agua adyacente en al menos 3 °C (~6 °F).
 - Estudie el patrón de las temperaturas de superficie para identificar las zonas donde se registra el mayor calentamiento. La brisa marina se orientará hacia estas regiones.
 - Busque patrones de dirección y velocidad de los vientos favorables a escala sinóptica (es decir: hacia tierra, o bien hacia el mar a menos de 10 nudos de velocidad).
 - Un aumento en el componente hacia tierra de los vientos de superficie en la costa es un indicio del comienzo de la brisa marina.
 - Utilice las tendencias de las temperaturas para estimar tanto la hora como la magnitud máxima de la brisa marina.
 - Por cada medio grado Celsius (~1 °F) que aumenta la diferencia de temperatura entre mar y tierra, la velocidad de la brisa marina aumenta un nudo.
 - El momento de mayor diferencia de temperatura entre mar y tierra coincide con la máxima intensidad de la brisa marina y la máxima penetración del frente sobre tierra firme.
2. Sondeo atmosférico/Diagrama termodinámico (diagrama oblicuo T - log p)
 - Utilice los sondeos para estimar la profundidad de calentamiento de la atmósfera. Esto ayuda a determinar la intensidad relativa de la brisa marina: entre dos capas con temperaturas similares, la capa de mayor espesor producirá la brisa marina más intensa.
 - Evalúe la intensidad del flujo en la troposfera; un flujo relativamente débil en una capa atmosférica profunda es propicio para la formación de la brisa marina.
 - Evalúe los parámetros relacionados con la estabilidad atmosférica para determinar el potencial de desarrollo de convección fuerte a lo largo del frente de brisa marina.
3. Salida del modelo
 - La guía del modelo numérico nos puede alertar de la probabilidad de que se forme una brisa

marina en un día en particular, pero a menudo los detalles de la brisa son incorrectos.

- Compare los pronósticos generados por el modelo de mesoescala en días anteriores para ver cómo la brisa marina pronosticada por el modelo se compara con el desarrollo real de la brisa marina.
- A menudo, el conocimiento del patrón de desarrollo típico de la brisa marina en la zona nos puede ayudar con los detalles necesarios relativos a la penetración de la brisa hacia el interior, su intensidad y las variaciones que se producirán a lo largo de la costa.
- Combine la guía del modelo sobre las temperaturas de superficie con las tendencias de las observaciones para estimar el momento de inicio de la brisa marina y pronosticar la hora de máxima intensidad y máximo avance tierra adentro.
- Utilice la salida del modelo para revisar las condiciones del flujo en los niveles inferiores y en altura.

4. Datos satelitales

- Observe el desarrollo de los estratos marinos que han penetrado sobre tierra firme para identificar las zonas de disipación cerca de la costa. Utilice esta información para identificar los bordes de las nubes a lo largo de los cuales puede existir un gradiente térmico capaz de producir vientos más fuertes o ráfagas.
- Revise las secuencias de imágenes en el canal visible (VIS) para vigilar la cobertura nubosa: se necesita una atmósfera sin nubes desde la mañana hasta el mediodía para que se produzca suficiente calentamiento diferencial del suelo con respecto al agua adyacente.
- Revise las secuencias de imágenes en el canal visible para identificar la formación de cúmulos, una indicación de las primeras etapas del desarrollo de la brisa marina.
- Vigile las secuencias de imágenes en el canal visible para observar el movimiento del frente de brisa marina y la intensificación de las células convectivas a lo largo del frente de brisa marina.
- Utilice las secuencias de imágenes en el canal visible como ayuda para identificar características de mesoescala (frentes, líneas de convergencia, límites de corrientes de salida) y anticipar su interacción con un frente de brisa marina.
- Revise las secuencias de imágenes infrarrojas (IR) por la noche para localizar las zonas despejadas y de enfriamiento fuerte sobre tierra firme, las cuales son propicias para el desarrollo de la brisa de tierra.
- Utilice las secuencias del producto de diferencia de imágenes de los canales 10,7 y 3,9 μm para vigilar la formación de estratos y cúmulos asociados con el desarrollo de la brisa de tierra nocturna.

5. Radar NEXRAD

- Los frentes de brisa marina aparecen como estrechas zonas de vientos convergentes o diferencias de densidad. Las fronteras se detectan mejor en modo "cielo despejado" que en modo "precipitación".
- En los productos de reflectividad y anchura de espectro, los frentes de brisa marina se ven como líneas delgadas de valores resaltados (líneas finas).
- Vigile la velocidad basal del viento para determinar el movimiento del frente de brisa marina.
- Un cambio en la dirección del viento a través del frente de brisa marina se puede detectar en el producto "velocidad radial media" en forma de convergencia radial o cortante azimutal, según la dirección de los vientos con respecto a la adquisición de datos de radar (*Radar Data Acquisition*, o RDA).

¡Felicitaciones!

Ahora que ha terminado de estudiar el módulo ***Forzamiento térmico de la circulación I: brisas marinas***, puede imprimir el resumen que aparece a continuación para repasar el material antes de tomar la **prueba del módulo** y evaluar lo que aprendió sobre el tema.

Y no se olvide de tomar la **encuesta** para enviarnos su opinión sobre este módulo.
