

Aspectos Estadísticos de la Brisa de Mar
en Puerto Madryn durante el verano 1974 - 1975



CENTRO
NACIONAL
PATAGONICO

COMISION NACIONAL DE ESTUDIOS GEO-HELIOFISICOS

CENTRO NACIONAL PATAGONICO

ASPECTOS ESTADISTICOS DE LA BRISA DE MAR

EN PUERTO MADRYN DURANTE EL VERANO 1974 - 1975

M. Rivero y V. Barros

PUERTO MADRYN - CHUBUT

1975

S U M A R I O

- 1 INTRODUCCION
- 2 CARACTERIZACION DEL FENOMENO EN ESTUDIO
- 3 INFORMACION DISPONIBLE Y SU USO
- 4 ESTADISTICAS
- 5 CONCLUSION
- 6 REFERENCIAS

I. INTRODUCCION

Las mediciones de fluor total soluble en aire durante el verano de 1974 - 1975 en la ciudad de Puerto Madryn realizadas por el C.N.P. (1) y por la Gerencia de Investigaciones de Aluar (2), permiten establecer que con vientos del sector Este se pueden producir concentraciones significativas del mencionado elemento. Ello, a pesar de la circunstancia de que la emisión del mismo se hace desde un lugar situado a 1.500 metros al norte del límite de la ciudad y a que las mediciones se realizaron en una zona que va desde dicho límite hasta 5.000 metros al sur del punto de emisión.

En un reciente informe (3) se relatan las experiencias de medición simultánea de fluor en diversos puntos de la ciudad y observaciones meteorológicas en días de Brisa de Mar. Allí se da también una somera explicación del fenómeno por lo que no se repite la misma en el presente informe. La conclusión de (3) es que la circulación de la Brisa de Mar es la responsable de las mencionadas concentraciones.

Los resultados obtenidos en (3) fueron inicialmente previstos en un primer análisis del problema de la contaminación en Puerto Madryn (4) y es por ello que durante el verano 74 - 75 se pudo contar con la infraestructura adecuada para la adquisición de los datos que han permitido realizar el presente trabajo.

La caracterización estadística de algunos aspectos de la circulación de la Brisa de Mar es de importancia a fin de orientar la búsqueda de las mejores soluciones al proceso de industrialización de la zona.

2. CARACTERIZACION DEL FENOMENO EN ESTUDIO

La desigual temperatura del mar y la tierra produce en todo momento un efecto sobre el campo de movimiento del aire adyacente. Este efecto queda explícitamente aislado como un término en la ecuación de vorticidad.

En el presente trabajo no se pretende estudiar en forma general la influencia mencionada, sino aislar aquellos casos en que se produce una circulación aproximadamente normal a la costa durante un cierto período de tiempo. Estos casos son los que tradicionalmente fueron caracterizados como Brisa de Mar y presentan en general una corriente del mar a la tierra en superficie y una corriente de retorno en altura. Es en estas situaciones, donde precisamente la simple inspección de los vientos en superficie difícilmente puede dar una idea de las trayectorias seguidas por los contaminantes y es por ello que son los que nos interesan primeramente.

Durante el análisis de la información para discriminar la existencia o no del fenómeno previamente caracterizado, se observaron aspectos de interés

atribuibles a la desigual temperatura del mar y la tierra pero que no son discutidos en este trabajo sino que serán analizados en otro.

3. INFORMACION DISPONIBLE Y SU USO

Un estudio completo y exhaustivo del fenómeno requiere información que debe obtenerse con equipos de observación no accesibles a los autores.

Un método, que podríamos llamar lagrangiano, utiliza globos que ajustan su densidad a la del aire circundante, infiriendo así las trayectorias medias de lo que serían parcelas de aire del tamaño del globo (5), (6).

Otro método mucho más usado para este tipo de trabajos es el de la observación simultánea en diferentes puntos y niveles durante el período de tiempo en estudio (7), (8).

Lyons y Olsson (9) han mostrado que a partir de la información obtenida por el segundo método es posible calcular las trayectorias de las parcelas si se dispone de una adecuada densidad de observación y facilidades de computación. En efecto, mediante la utilización simultánea de ambos sistemas de observación ellos pudieron realizar las comparaciones con resultados favorables.

La fabricación y utilización de un globo que ajuste su densidad al medio no es un trabajo sencillo por cuanto su densidad es modificada por las variaciones de temperaturas debidas a la absorción de radiación por el globo. Esta técnica se estimó fuera del alcance de nuestras posibilidades.

En el caso del segundo método, se requiere el uso de un radar o por lo menos dos teodolitos aerológicos, material del que no se disponía.

Tampoco se ha podido hacer una estimación indirecta del campo de movimiento tridimensional a partir del equivalente en temperatura por no disponerse de equipor de radiosondeo.

Faltando las anteriores facilidades se ha tratado de definir la existencia de la circulación de Brisa a partir del análisis global de la suma de información disponible y de las conocidas características de este fenómeno y de otros de escala sinóptica. En la gran mayoría de los casos se pudo discriminar con certeza la circulación de Brisa de Mar de otros fenómenos que también pueden producir viento del Este en superficie.

Características tales como el frente de Brisa, su velocidad y tipo de desplazamiento y sus efectos sobre la humedad y la temperatura se transformaron en

herramientas utilísimas en este tipo de análisis por presentar un comportamiento esencialmente diferente de sus similares de la escala sinóptica.

Los datos de que se dispuso son los siguientes:

- Registro de temperatura y humedad en ocho puntos y vientos en seis (dirección e intensidad), según se puede apreciar en la fig. 1. La estación N° 6, aunque próxima a la costa, suministra información de diferente valor que la 1 y la 3, por hallarse a 120 metros de altitud, ha sido de gran utilidad.
- Cartas del Tiempo publicadas por el Servicio Meteorológico Nacional y análisis sinópticos de la Base de Trelew.
- Registros de radiación de un piranógrafo y de presión de un barógrafo.
- En algunas oportunidades, globos que, seguidos visualmente, permitieron una definición cualitativa respecto de la existencia del fenómeno.
- Mediciones móviles de temperatura, humedad y viento en varias oportunidades.

La información precedente presenta ciertos huecos por cuanto no fue posible obtener absolutamente todos los datos debido a fallas en el instrumental y a problemas operativos. Sin embargo, fue posible en todos los casos disponer de abundante información como para obtener un razonable grado de certeza sobre la existencia o no de una circulación de Brisa de Mar.

Algunos casos que presentan cierto tipo de dificultad en su análisis merecen ser brevemente expuestos aquí. El pasaje de un anticiclón migratorio, con su centro cerca de la zona de Puerto Madryn o hacia el sur de la ciudad, suele dar lugar a una secuencia de vientos del Sur o Sudeste que bruscamente rotan al Este y luego al Norte. Cuando la rotación al Este coincide con las horas del día o primeras de la noche es difícil discriminar si se trata o no de una Brisa de Mar superpuesta a condiciones sinópticas de calma o débil Este. En efecto, las condiciones de gradientes de presión muy débiles asociadas a los anticiclones favorecen las circulaciones de tipo local como la Brisa de Mar y es por ello que la brusca rotación del viento al sector Este puede ser indicativa en estas circunstancias de la iniciación de la Brisa de Mar. En estos casos han sido de suma utilidad los datos de las estaciones 7 y 8 que se hallan

a 5 y 17 km. de la costa. Si el frente del viento del Este se desplaza de Este a Oeste y si su velocidad de desplazamiento es sensiblemente menor que la del viento, dando lugar a una zona de convergencia, la caracterización del fenómeno de Brisa es prácticamente segura.

4. ESTADISTICAS

Si bien el comportamiento de los parámetros meteorológicos varía grandemente de un año a otro, las estadísticas de un año pueden ser utilizadas como un primer grado de conocimiento de la climatología de un lugar, particularmente si no se dispone de un período más prolongado de información.

Durante el período en estudio se produjo el fenómeno de Brisa en 86 días, lo que sobre un total de 180 días representa un 48%. Es decir que durante el verano 74 - 75 se ha producido Brisa de Mar aproximadamente un día de cada dos. Esta frecuencia es sensiblemente mayor que la que se da en general en la misma latitud del hemisferio norte (10), (11). El cuadro I presenta la distribución mes a mes del número de días con Brisa y las horas totales de duración

del fenómeno en la estación E₃ la que, por hallarse sobre la costa, daría el máximo tiempo de duración del fenómeno.

CUADRO I

Estación N° 3

MES	NUMERO DE DIAS CON BRISA DE MAR	HORAS CON BRISA DE MAR
Septiembre (10 días)	4	17.50
Octubre	14	110.10
Noviembre	11	83.20
Diciembre	19	148.30
Enero	15	143.30
Febrero	12	67.20
Marzo (20 días)	11	62.00
TOTAL	86	632.40

Existe un máximo en días y horas en el mes de diciembre aunque no se puede suponer que es una característica que se repite año a año.

El número de horas con Brisa representa un 15 % del total de horas del período y en los meses de mayor frecuencia de Brisa, Diciembre y Enero, este porcentaje se eleva al 20%.

El cuadro 11 muestra la distribución de la hora del día en que comienza la Brisa de Mar, mes a mes y para la estación N° 3.

CUADRO 11

Horas Mes	08-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20
Septiembre (10 días)	0	0	3	1	0	0
Octubre	1	6	3	2	2	0
Noviembre	3	3	1	4	0	1
Diciembre	3	5	5	3	2	2
Enero	2	5	3	4	1	1
Febrero	1	2	4	1	2	2
Marzo	3	3	1	1	1	2
TOTAL	13	24	20	16	8	8

Aparentemente existe la tendencia de iniciar la circulación de Brisa de Mar en horas de la tarde. Esto es particularmente cierto en el mes de Febrero en el que la componente Oeste del viento fue muy pronunciada.

En general, Puerto Madryn presenta una componente Oeste muy marcada y es muy posible que ello influya en que la entrada de la Brisa sólo sea posible cuando el contraste térmico entre mar y tierra ya es muy pronunciado.

El cuadro II muestra 89 casos en total y es porque en tres oportunidades se produce una doble entrada en la estación N° 3. Este fenómeno también ha sido observado en otros lugares por varios autores.

La duración del fenómeno en la estación N° 3 se muestra en el cuadro III.

Hay varios días en que la Brisa dura más de 12 horas y en cuatro de ellos más de 14 horas.

Hay una mayor frecuencia en los casos en que dura 5 a 6 horas u 8 a 9 horas y eso es válido, no sólo para todo el período, sino también durante varios meses.

La duración media de la Brisa es de alrededor de 7 horas y media.

Para estudiar la penetración de la Brisa en el continente se han utilizado los datos de las estaciones 7 y 8. Al carecerse de registros de viento, la interpretación del registro de temperatura y de humedad es el único recurso disponible y no tan seguro. No obstante ello y debido a que dichas estaciones se hallan alejadas del mar, la temperatura y la humedad reaccionan sensiblemente al viento del Este. Esto es mucho más claro en el caso de la estación N° 7 ubicada a 17 km. del mar.

CUADRO III

Duración de la brisa (hs.)	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15
Septiembre (10 días)	-	-	1	2	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Octubre	-	-	1	1	-	3	1	2	3	1	1	-	-	-	1
Noviembre	-	2	-	1	1	2	2	-	-	3	-	-	-	-	1
Diciembre	-	1	2	1	1	4	2	2	4	1	1	-	1	-	-
Enero	-	1	-	1	2	-	1	-	3	1	-	3	1	-	2
Febrero	-	1	1	2	3	2	-	-	2	1	-	-	-	-	-
Marzo (20 días)	-	1	2	1	-	2	2	1	-	-	2	-	-	-	-
TOTAL	-	6	7	9	7	13	8	5	13	7	4	3	2	-	4

1
=

La información analizada abarca del 12 de Febrero al 20 de Marzo, período en el que se pudo disponer de la información de dichas estaciones.

En todos los casos (veinte), el frente de Brisa llega hasta la estación N° 7, aunque en varias oportunidades lo hace después que el fenómeno ha cesado en la costa. Este efecto fue también observado por Oisson (7) en las brisas provenientes del lago Michigan.

A fin de poder apreciar la magnitud de la penetración de la celda de circulación organizada se computó el número de horas en que la Brisa se observaba simultáneamente en las estaciones N° 7 y 3. Ello ocurre en 32 horas de las 112 en que se observa en la estación N° 3, es decir, en aproximadamente el 30 % del tiempo.

Un análisis similar para la estación N° 8 arroja un resultado de 51 horas sobre 112, lo que representa un 45% del tiempo.

Se puede en consecuencia concluir que, en alrededor del 55% del tiempo de Brisa en la costa, la penetración en el continente parece ser inferior a 5 km. y, en el 70%, menor de 17 km.

La intensidad de la circulación de Brisa es reflejada por el valor medio de la intensidad del viento en

superficie. Ella es para todo el período Septiembre 21 - Marzo 20, de 15 km./hora en la estación N° 3. El cuadro IV ilustra sobre las frecuencias de las distintas velocidades, siempre para la misma estación.

CUADRO IV

Velocidad del viento km/h	0 - 10	10 - 20	20 - 30	30
% horas	30	50	18	2

Es de interés conocer como se comporta la componente paralela a la costa y superpuesta a la circulación de Brisa, ya sea de origen sinóptico o producto de la misma Brisa de Mar. Depende de esta componente que el reciclaje de los contaminantes sea acompañado de un desplazamiento hacia el Norte o el Sur del punto de emisión.

La estación N° 6, que se halla a 120 metros de altura y no muy alejada de la costa puede ser indicativa de esta componente, especialmente cuando el período de Brisa en esta estación está comprendido durante el tiempo fenómeno en las estaciones de la costa.

El cuadro V, con datos de la estación N° 6, presenta el número de casos de Brisa, separados según que la

componente meridional del viento sea del Norte antes y después, del Sur antes y después, etc..

Cuando la Brisa no alcanza a la estación N° 6 los datos referidos como antes y después de la Brisa son los que corresponden a momentos extremos del fenómeno en la estación N° 3.

CUADRO V

Estación N° 6

		A	B	C	D
N° de CASOS		32	18	36	3
Intensidad media del viento km./hora	Antes Promedio	20,6	17,1	14,8	-
	Después			17,3	
Valor medio de la componente meridional del viento km./hora	Antes Promedio	18,1 (norte)	11,5 (sur)	11,7 (sur)	-
	Después			16,8 (norte)	

- A: situaciones con componente Norte antes y después de la Brisa.
- B: situaciones con componente Sur antes y después de la Brisa.
- C: situaciones con componente Sur antes y Norte después de la Brisa.
- D: situaciones con componente Norte antes y Sur después de la Brisa.

El escaso número de casos D, no justifica el cálculo de sus valores medios.

El cuadro V sugiere que los casos con componente Norte antes y después de la Brisa son bastante más frecuentes que los equivalentes con componente Sur (situaciones A y B). También las intensidades y componentes meridionales medias del viento son mayores en los casos A que en los B.

Algunos de los casos C pueden estar asociados al pasaje de anticiclones migratorios y si bien es cierto que bajo esas condiciones puede ser favorecida la circulación de la Brisa de Mar, la alta frecuencia del caso C no debe explicarse solamente por el pasaje de sistemas sinópticos. En este caso, en promedio, se produce una rotación desde una dirección Sudoeste o Sudeste (más frecuente la primera) a viento prácticamente Norte, como puede comprobarse mediante la comparación entre la intensidad y la componente meridional del viento en el cuadro V.

Es conocida la tendencia de la circulación de Brisa de desviarse, hacia la izquierda en el hemisferio sur y hacia la derecha en el hemisferio norte, por efecto de la rotación terrestre. En un modelo numérico (12) es investigado el caso de la Brisa de Mar en una costa con una configuración similar a la que se presenta en Puerto Madryn. Después de 8 horas de integración numé-

rica se hace marcado el giro de flujo a la derecha (H. Norte) en toda la región analizada).

Se considera que la pronunciada componente Norte que sigue a las horas de Brisa en muchas oportunidades en Puerto Madryn, es la continuación del mismo fenómeno local.

Al iniciarse la Brisa de Mar se produce en casi todos los casos una brusca caída de temperatura que, para el caso de la estación N° 3 durante el período en estudio, fue en promedio de $4,3^{\circ}$ C. La tabla IV presenta para la misma estación el número de casos en que la caída de temperatura alcanza diversos valores.

CUADRO VI

A T ($^{\circ}$ C)	0-1.9	2-3.9	4-5.9	6-7.9	8-9.9	10-11.9	12
N° de casos	12	25	19	13	12	7	1

La caída de temperatura se tomó en una hora aunque en muchos casos es prácticamente instantánea. Nótese que se dieron varios casos en que ella superó a los 10° C y aún en uno alcanzó 12° C.

En algunas oportunidades el viento tiene una leve componente Este anterior a la entrada de la Brisa.

En estas circunstancias la caída de Temperatura no se presenta en la zona costera, estableciéndose el frente de Brisa hacia el interior del continente. Estos casos son los que aumentaron a 12 el número de los que tienen una caída muy leve o nula.

Una información de interés es la referente al espesor vertical de la circulación de Brisa. Debido a la falta de observaciones aerológicas no se puede dar al presente una estimación directa. No obstante, la latitud de la estación N° 6 ubicada al borde de la meseta, brinda un medio de obtener alguna información indirecta al respecto. De las 632 horas de Brisa de Mar en la estación N° 3 sólo en 389 de ellas también se observa el fenómeno en la N° 6. Resultaría así que en cerca del 40% del tiempo, la corriente de entrada es menor de 120 metros (altura de la estación N° 6). Esta estimación tiene sólo el valor de una aproximación; aunque debido a comparaciones con la estación N° 2, la sensible diferencia con la estación N° 3 debe atribuirse fundamentalmente a la diferente altitud.

En general la corriente de retorno es alrededor del doble de la de entrada por lo que una estimación para el espesor de toda la Brisa inferior a 360 metros, en 40% del tiempo parece razonable a la luz de la presente información.

No se ha hecho ninguna hipótesis ni prueba de significación estadística esperando poder reunir información de por lo menos otro año. Mientras tanto la información brindada puede ofrecer una idea acerca de la circulación de Brisa de Mar en Puerto Madryn.

5. CONCLUSION

La ciudad de Puerto Madryn se halla, durante el verano, frecuentemente dentro del sistema de vientos conocido como Brisa de Mar. Dicha frecuencia parece ser del orden del 50% de los días de la primavera y el verano. El fenómeno se produce también durante parte del otoño y el invierno, pero dicho período no fue analizado.

El número de horas con Brisa de Mar es del orden del 15% y en ciertos meses llega al 20%.

La circulación se puede iniciar en cualquier momento del día aunque lo hace más frecuentemente en las horas del mediodía. Su duración media es del orden de 7 a 8 horas y se han observado casos de cerca de 15 horas.

La mayor parte del tiempo el fenómeno no se extiende profundamente dentro del continente, confinándose a una franja de menos de 5 km. en alrededor de la mi-

tad del tiempo, y sólo en un 30% del mismo supera los 17 km. Al menos éstas han sido las condiciones de Febrero y Marzo.

La intensidad media del viento es del orden de 15 km. por hora en superficie y en la costa. Se han registrado casos con más de 30 km./hora.

Si bien es frecuente que antes de la iniciación de la Brisa de Mar haya una componente Sur (generalmente viento del Sudoeste), es mucho más frecuente que al finalizar la misma el viento sea prácticamente Norte. Por ello en la mayoría de los casos es muy probable el reciclaje de contaminantes a través de trayectorias con forma de helicoide y con una dirección Norte a Sur.

6. REFERENCIAS

- (1) Concentraciones en el aire de Fluor soluble en Puerto Madryn. C.N.P., Febrero 1975.
- (2) Informes bimestrales sobre Contaminación Ambiental; Gerencia de Investigación y Desarrollo de Aluar S.A.I.C., Septiembre 1974, Diciembre 1974, Abril 1975.
- (3) V.Barros y J.Cejas, Mediciones de Fluor soluble en Puerto Madryn en días con Brisa de Mar. C.N.P., Mayo 1975.

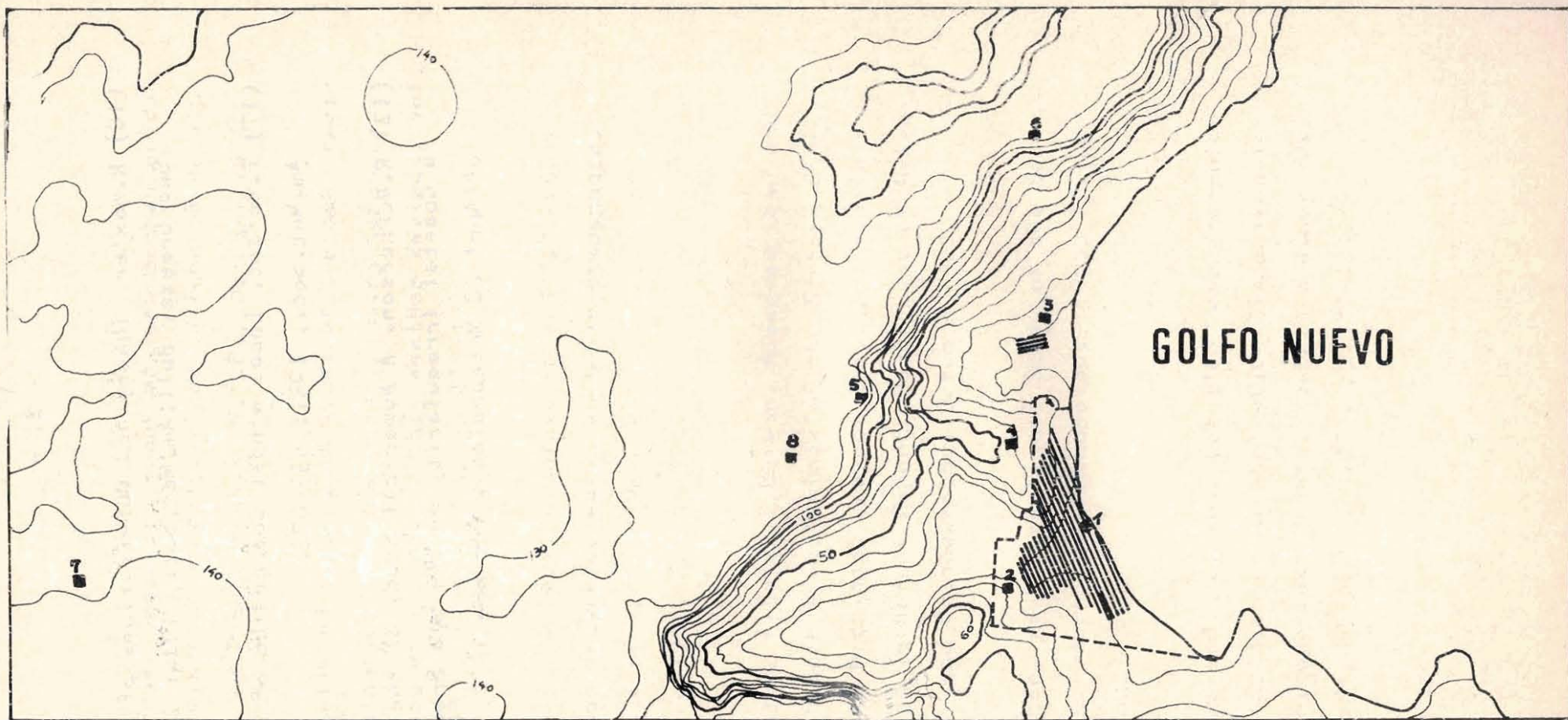
- (4) V.Barros. Concentraciones máximas probables de contaminantes a producir por la fábrica de aluminio de Puerto Madryn. C.N.P., Octubre 1974.
- (5) J.Angell and D.Pack. A study of the Sea Breeze at Atlantic City, New Jersey, Using Tetrons as Lagrangian Traurs. Monthly Weather Reviews, Vol. 93, N° 8, Agosto 1965, pp 475-493.
- (6) J.Angell, D.Pack, G.Molzworth and C.Dikson. Tetron Trayectories in an Urban atmosphere. Journal of Applied Meteorology, Vol.5, N° 5, octubre 1966, pp 565-572.
- (7) L.Olsson, A.Cole, E.Hevson. Abserved Land and Lake Breeze Circulations of the Eastern Shore of Lake Michigan. Project Director: A.Wiin - Nielsen Technical Report. Department of Meteorology and Oceanography, Octubre 1968.
- (8) E.Fisher. An Observational Study of the Sea Breeze. Journal of Meteorology, 1960, 17, pp 645-660.
- (9) W.Lyons and L.Olsson. Detailed Mesometeorological Studies of Air Pollution Dispersion in the Chicago Lake Breeze. Monthly Weather Review Vol. 101, N° 5, Mayo 1973, pp 387-403.

- (10) R. Wexler. Theory and Observations of Land and Sea Breeze. Bull. Am. Met. Soc., 1946: 27, 272-287.
- (11) F. Defant. Local Winds. Compendium of Meteorology. Am. Met. Soc., 1951: 655-672.
- (12) R. McPherson. A Numerical Study of the Effect of a Coastal Irregularity on the Sea Breeze. Journal of Applied Meteorology. October 1970, pp 767-776.

FIGURA I

Zona de Puerto Madryn

- 22 -



Estaciones 1 a 6 con registro de vientos, humedad y temperatura

Estaciones 7 y 8 con registro de humedad y temperatura

- - - - Límite de la zona urbana

==== Aireadores de Aluar

En rayado, zona poblada

Escala: 1:100,000