

CONTAMINACION ATMOSFERICA

GRAVE PROBLEMA

Santiago se ha convertido en una ciudad enferma. Su mal es concreto, real. No hay habitante santiaguino que no sufra los efectos nocivos que provoca un medio ambiente contaminado.

Diversas y múltiples han sido las campañas que se han iniciado para que todos tomemos conciencia del problema. *Contaminación culpa de algunos, problema de todos*, reza un slogan. Existen una serie de acciones por parte de las autoridades gubernativas, de instituciones de salud, de las universidades para detener el aumento de la contaminación, que daña no tan sólo la vida humana, sino también, la vegetal, los materiales y el medio ecológico.

Los estudiantes universitarios no están ausentes de esta preocupación. También ellos, buscan conocer en profundidad las causas que provoca la contaminación, cuáles son los elementos que contribuyen a ella, los niveles que alcanzan y cuáles serían las alternativas de solución. Para analizar estas interrogantes, el Centro de Alumnos del Departamento de Mecánica organizó un foro sobre Contaminación Ambiental. Los conferencistas, expertos en la materia, fueron Luis Matamala, ingeniero civil químico, encargado del proyecto de contaminación ambiental del Instituto de Investigaciones Tecnológicas de la CORFO, INTEC, Manual Martínez, licenciado en química y especialista en efectos de contaminantes, también perteneciente a INTEC y Pablo Ulriksen, investigador de la sección Meteorología del Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, de la Universidad de Chile.



Correspondió a Luis Matamala iniciar la exposición, para lo cual basó en un estudio realizado conjuntamente por INTEC, el Ministerio de Salud y las Municipalidades del área metropolitana, por encargo de CORFO, a fin de establecer un programa para el Control de la Contaminación Atmosférica en Santiago.

Para medir el grado real de contaminación, determinar los contaminantes – problema y las fuentes que los emiten, se realizó un inventario de emisiones de fuentes fijas y móviles y se montó y aperó una red de estaciones de muestreo de contaminantes, señaló Luis Matamala. El estudio agregó, se realizó en 1976-77, abarcando todas las estaciones climáticas.

Entre fuentes fijas se tiene a las industrias fumígenas, calderas, ya sean industriales o de calefacción, incineradores y fuentes tales como aeropuertos, estaciones de ferrocarril, basurales y estaciones de servicios.

Respecto a las fuentes móviles, el inventario comprendió todos los vehículos motorizados tanto de la locomoción colectiva como particulares.

Tal como lo muestra la Tabla 1 los

siete contaminantes más importantes son: partículas, anhídrido sulfuroso, monóxido de carbono, hidrocarburos, óxido de nitrógeno, aldehído y anhídrido sulfúrico.

De esta tabla se observa que la emisión más importante corresponde al monóxido de carbono, siendo los vehículos motorizados los responsables del 99.0% de ella, y los incineradores y calderas del 0.8%.

Posteriormente y en grado de importancia, figuran las emisiones de anhídrido sulfuroso, siendo las fuentes las calderas, en especial las industriales que emiten el 34.5%, le siguen las industrias de procesos metalúrgicos con un 32.7% y las calderas de calefacción con un 23.9%. El transporte, contribuye sólo con el 8.1% de las emisiones.

En cuanto a los hidrocarburos – indicó Luis Matamala éstos provienen principalmente de los vehículos motorizados, ya que ellos representan el 88.9% de estas emisiones, los servicentros el 7.3%, las industrias químicas el 0.9% y los lavasecos el 0.8%.

La emisión de partículas es aún menor, siendo las fuentes más significativas los procesos de tratamiento de minerales con el

T A B L A 1
EMISIONES MENSUALES DE SANTIAGO CONTAMINANTES (ton/mes)

Fuentes emisoras	Partículas		SO ₂		CO		Hidrocarburos		NO _x		Aldehidos		SO ₃		N° de fuentes
	ton/mes	%	ton/mes	%	ton/mes	%	ton/mes	%	ton/mes	%	ton/mes	%	ton/mes	%	
Incineradores	12	1.9	1	0.1	82	0.5	28	0.8	1	0.1	-	-	-	-	312
SUB TOTAL	12	1.9	1	0.1	82	0.5	28	0.8	1	0.1	-	-	-	-	312
Calderas	63	9.8	379	23.9	34	0.2	17	0.5	93	8.2	8	89.0	4	40.0	657
Calefacción	115	17.8	548	34.5	9	0.1	6	0.2	98	8.6	1	11.0	6	60.0	280
Industriales	178	27.6	927	58.4	43	0.3	23	0.7	191	16.8	9	100	10	100	937
SUB TOTAL															
Procesos	42	6.5	11	0.7	1	-	55	1.7	1	0.1	-	-	-	-	336
Industria química	8	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	83
Industria alimentos															
Industria metalúrgica y productos minerales	339	52.7	521	32.7	19	0.1	15	0.5	11	1.0	-	-	-	-	912
SUB TOTAL	388	60.4	532	33.4	20	0.1	70	2.2	12	1.1	-	-	-	-	1,330
Transporte	20	3.1	14	0.9	5,870	36.0	1,072	32.5	243	21.4	-	-	-	-	200,000
Autos particulares	25	3.9	101	6.4	4,563	28.0	818	24.8	444	39.1	-	-	-	-	4,100
Locomoción colectiva	20	3.1	13	0.8	5,712	36.0	1,043	31.6	236	20.8	-	-	-	-	14,000
SUB TOTAL	66	10.1	128	8.1	16,145	99.0	2,933	88.9	923	81.3	-	-	-	-	218,100
Varios	-	-	-	-	-	-	243	7.3	-	-	-	-	-	-	194
Estación de servicio	-	-	-	-	10	0.1	3	0.1	8	0.7	-	-	-	-	2
Aeropuerto	-	-	-	-	10	0.1	246	7.4	8	0.7	-	-	-	-	196
SUB TOTAL															
TOTALES GENERALES	643	100	1,588	100	16,300	100	3,300	100	1,136	100	9	100	10	100	220,875

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS
APROBADOS POR LA E.P.A. (ESTADOS UNIDOS)

Contaminante	Tiempo promedio	Límites primarios ⁺		Límites secundarios [*]	
		ug/mt ³	ppm	ug/mt ³	ppm
Anhidrido sulfuroso	Promedio aritmético anual	80	0.03	60	0.02
	24 horas	365	0.14	260	0.1
	3 horas	-	-	1.300	0.5
Partículas en suspensión	Promedio geométrico anual	75	-	60	-
	24 horas	260	-	150	-
Monóxido de carbono	8 horas	10.000	9	10.000	9
	1 hora	40.000	35	40.000	35
Oxidantes fotoquímicos	1 hora	160	0.08	160	0.8
Hidrocarburos (excepto metano)	3 horas	160	0.24	160	0.24
Dióxido de Nitrógeno	Promedio aritmético anual	100	0.05	100	0.05

⁺ Establecidos para proteger a las personas

^{*} Establecidos para proteger al medio ambiente: animales, agricultura, vegetación, etc.

32.7%, las calderas con el 27.6% y los transportes con el 10.1%.

Más adelante, en su exposición Luis Matamala, indicó que las emisiones provenientes de los vehículos se producen preferentemente en el área céntrica, comprendida entre el río Mapocho, Plaza Baquedano Avda. Libertador Bernardo O'Higgins y Avda. Norte-Sur, sector en el cual se genera aproximadamente el 50% del total emitido por éstos.

En las comunas de Providencia, Las Condes y en las avenidas Vicuña Mackenna Independencia y José Miguel Carrera existe también una alta densidad de emisión, pero menor que la registrada en el sector céntrico.

Las emisiones provenientes de las industrias se concentra en los sectores Sur, (San Miguel) Sur Oriente (Ñuñoa y Puente Alto Occidente (Maipú), Norte (Renca y Quilicura), y en el centro de la ciudad.

Límite máximo permisible

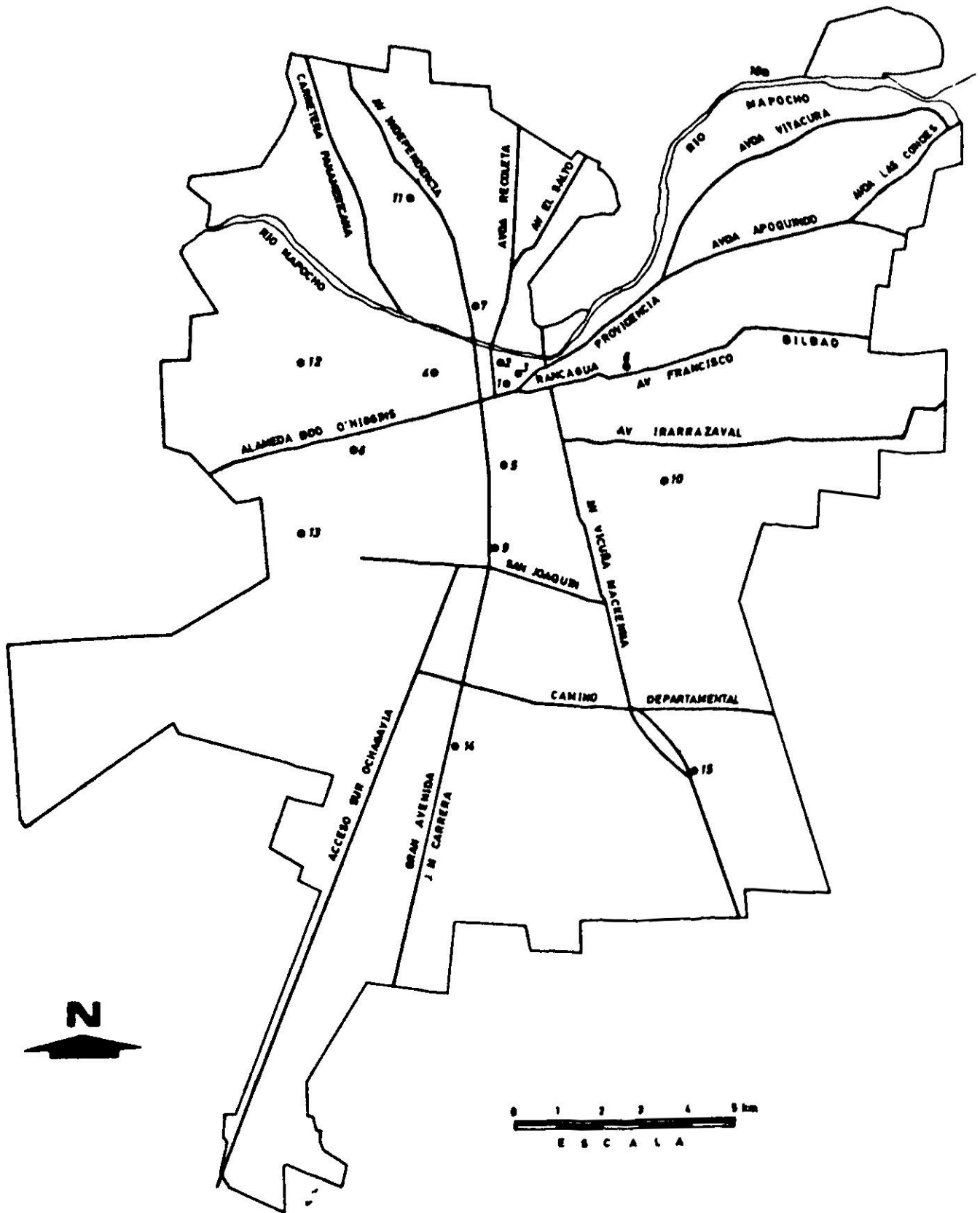
El estudio realizado por INTEC, conjuntamente con el Ministerio de Salud y de las

Municipalidades del área metropolitana, acordó adoptar como límites máximos permISIBLES de contaminantes en la atmósfera, los establecidos por la Environment Protection Agency, E.P.A. de los Estados Unidos.

Contaminación por monóxido de carbono

Los niveles de concentración, informó Luis Matamala, muestran que durante el período que va de septiembre de 1976 a septiembre de 1977, el límite máximo permisible para promedio de 8 horas fue superado un total de 583 veces y el límite máximo permisible (LMP) para promedios de una hora, un total de 34 veces. A este respecto los LMP recomendados establecen que estos límites no deben excederse más de una vez en el año.

La descarga mensual de 16.300 toneladas de monóxido de carbono a la atmósfera, es producida en un 99% por los vehículos motorizados, porcentaje que se distribuye: taxis, 35%, locomoción colectiva 28%, particulares 36%.



Ubicación de la red de muestreo de contaminantes en el área metropolitana de Santiago.

Contaminación por partículas en suspensión

En otra parte de su alocución, Luis Matamala se refirió a las partículas en suspensión que crea serios problemas de contaminación ambiental. Los resultados obtenidos durante el período de mediciones correspondiente a Noviembre de 1976 - Noviembre 1977, indican que el límite máximo aceptado para tiempos de exposición de 24 horas fue superado un total de 120 veces en todo

Santiago. A este respecto indicó, las normas de calidad de aire establecen que este límite no debe excederse más de una vez en un año.

La tendencia observada en el año de mediciones puntualizó el conferencista - indica claramente que este problema se agrava en el invierno, período en el cual las condiciones meteorológicas son más desfavorables, es decir, falta de vientos o de lluvias, capa de inversión baja, alta intensidad de luz solar etc.

DATOS OBTENIDOS PARA POLVO EN SUSPENSION EN LAS ESTACIONES MANUALES DE LA RED.
ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS Y COMPARACION RESPECTO A LOS
LIMITES MAXIMOS ACEPTADOS PERIODO: NOV. 1976 NOV. 1977

ITEM \ ESTACION N°	2	5	6	10	11	12	13	14	15	16
Número total de muestras en el período respectivo.	73	50	—	74	37	30	43	49	61	27
Concentración máxima observada en el período $\mu\text{g}/\text{m}^3$	321	429	—	498	588	449	423	489	506	408
Promedio aritmético para el período $\mu\text{g}/\text{m}^3$	166	208	—	215	260	240	216	234	243	148
Promedio geométrico para el período $\mu\text{g}/\text{m}^3$	159	196	—	199	233	226	205	220	290	—
Desviación standard geométrica $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1.35	1.412	—	1.402	1.59	1.411	1.37	1.422	1.402	—
Numero de veces superado L.M.P. para promedios de 24 horas ($260 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	6	8	—	13	19	16	11	18	27	2
Porcentaje de desviación del promedio geométrico anual respecto al máximo aceptado ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	112	161	—	166	197	201	173	193	205	—

De acuerdo con el inventario, de las 643 ton/mes de partículas que son vaciadas a la atmósfera, el 60.4% corresponde a emisiones de procesos industriales, principalmente metalúrgicos, y el resto, a emisiones de calderas de tipo industrial.

Contaminación por oxidantes fotoquímicos

Luis Matamala, al referirse a la contaminación por oxidantes fotoquímicos señaló que si bien éstos no fueron medidos, se tiene evidencia de su existencia. Una muestra clara de ello, es la molestia, las afecciones a la vista y a la vías respiratorias que sufren los transeúntes que circulan por la zona céntrica, especialmente en los días que las condiciones meteorológicas son adversas.

Efectivamente, los oxidantes fotoquímicos son el resultado de la acción directa de los óxidos de nitrógeno sobre los hidrocarburos reactivos en presencia de radiación solar o ultravioleta.

Los compuestos que así se forman, son ozono e hidrocarburos parcialmente oxidados, tales como: aldehído, acroleína nitro-

compuestos y otros, los cuales producen, como lo señalamos, irritación ocular y de las vías respiratorias. *Nuevamente* — señaló Luis Matamala — *debemos recalcar que los vehículos motorizados son los principales causantes de la bruma que produce la contaminación por oxidantes fotoquímicos.*

Estrategias de control

Posteriormente el ingeniero civil químico de INTEC, se refirió a las medidas que se deberán adoptar sin dilación por parte de las autoridades, para controlar el problema de la contaminación atmosférica.

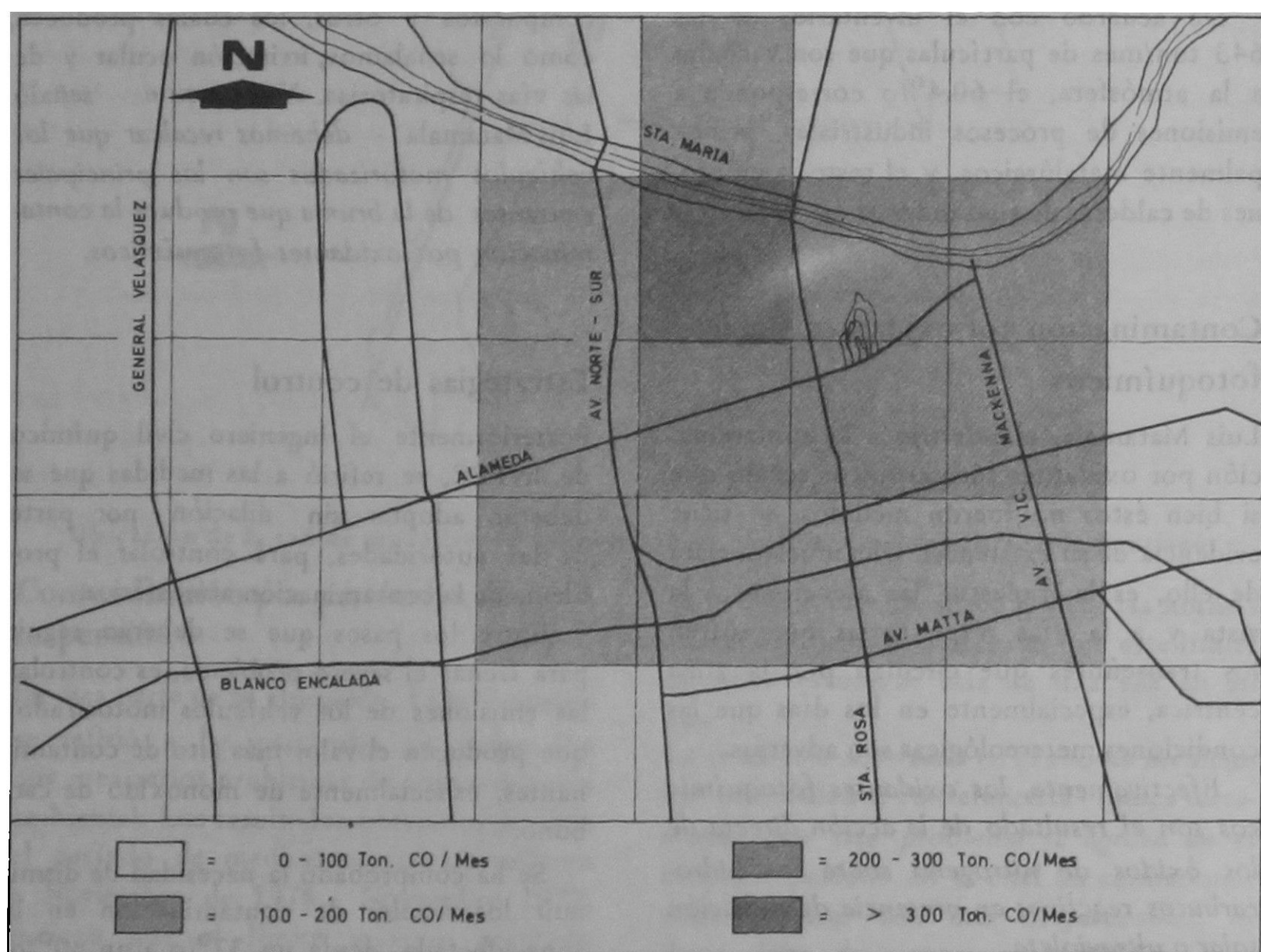
Entre los pasos que se deberán seguir para frenar el severo problema, es controlar las emisiones de los vehículos motorizados que producen el valor más alto de contaminantes, especialmente de monóxido de carbono.

Se ha comprobado la necesidad de disminuir los niveles de contaminación en la zona afectada, desde un 37% a un 80%, dependiendo de la época del año.

Las estrategias han sido clasificadas en dos grandes grupos. *Uno* — dijo Luis Ma-

RESULTADOS OBTENIDOS PARA MONOXIDO DE CARBONO (CO) EN LA
ESTACION MONITORA CENTRAL ANALISIS PERIODO
SEP. 1976 - SEP. 1977

ITEM	PERIODO	Sep. 1976 - Sep. 1977
Valor máximo (ppm) encontrado para intervalos de 1 hora		68
Valor máximo (ppm) encontrado para intervalos de 8 horas		35
Número de promedios en el mes que excede L.M.P. de 1 hora (34 ppm)		24
Número de promedios en el mes que excede L.M.P. de 8 horas (9 ppm)		583
Porcentaje de tiempo que se excede L.M.P. de 1 hora		0.32
Porcentaje de tiempo que se excede L.M.P. de 8 horas		16.55



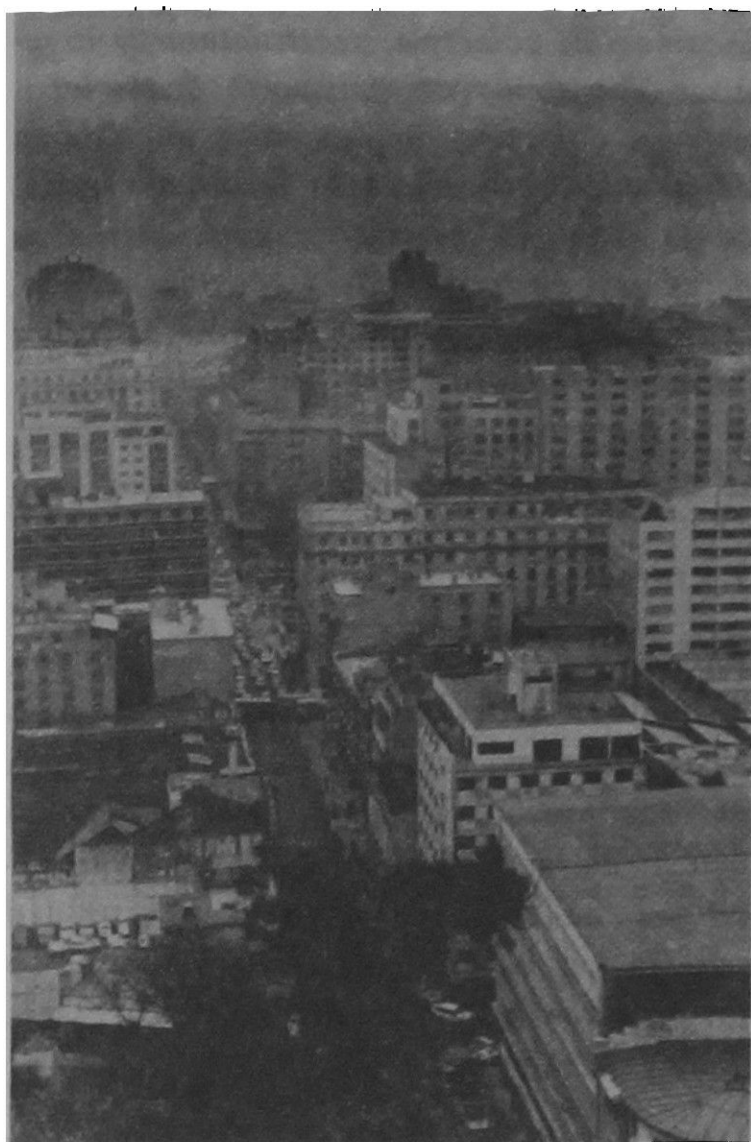
Densidad de emisiones de monóxido de carbono en el centro del área metropolitana de Santiago (1 cuadro = 1 km²).

tamala – las establecidas para disminuir el volumen de emisiones de contaminantes y dos, las establecidas para disminuir la emisión individual de contaminantes de los vehículos motorizados. Además, agregó – las medidas deben ser adoptadas en un plazo inmediato, a corto y mediano plazo.

Se recomienda, por una parte, crear zonas peatonales exclusivas, disminuyendo el número de vehículos que circula por la zona céntrica y finalmente aumentando la velocidad promedio de circulación. También dentro de las estrategias a corto plazo, se aconseja desincentivar el uso de vehículos particulares en el centro de la ciudad, lo que se concretaría eliminando los estacionamientos tipo parquímetros, prohibiendo la construcción de nuevos estacionamientos privados y encareciendo el monto de los estacionamientos autorizados en la zona.

Estrategia a corto plazo

Se recomienda en esta etapa, afirmó Luis Matamala, la creación de una zona peatonal, exclusiva en el centro de la ciudad, similar



al establecido en la zona ahumada, pero que abarque un mayor número de arterias; limitar el tránsito de vehículos particulares en las calles de mayor circulación de la

PORCENTAJE DE REDUCCION DE LAS EMISIONES DE MONOXIDO DE CARBONO NECESARIAS EN EL CENTRO DE SANTIAGO EN FUNCION DE LAS DIFERENTES EPOCAS DEL AÑO

Epoca del año	Concentración máxima obs, intervalos de 8 horas, ppm. (Estandar aceptado 9 ppm)	% Reducción necesaria
Verano	13	37
Otoño	35	80
Invierno	35	80
Primavera	26	62

locomoción colectiva, reestructurar y organizar el sistema de transporte de la locomoción colectiva, implementar un sistema de paraderos de buses en forma alternada, como también establecer vías exclusivas para buses. Es recomendable, además, afirmó, sincronizar y recoordinar los semáforos para hacer más expedito el flujo vehicular en la zona afectada.

Estrategia a mediano plazo

En esta etapa, se recomienda reestudiar la posibilidad de establecer líneas de trolley-buses en forma preferencial a los vehículos de combustión interna para locomoción dentro del área problema, evaluar la probabilidad de que los servicios de utilidad pública empleen en el futuro vehículos de menor efecto contaminante (eléctricos) tales, trolley o autónomos.

Estrategia para el control de las partículas en suspensión

Las medidas de control de las partículas en suspensión recomiendan iniciar una campaña tendiente a la creación de mayor número de parques y áreas verdes, principalmente en las comunas de Pudahuel, Conchalí, la Florida y Ñuñoa. También se debe prohibir la emisión de humos visibles de las fuentes estacionarias con índice de opacidad superior al 20^o/o.

En el caso de las calderas, ya sea doméstica o industriales, se les debe permitir superar este límite solo durante un período de 15 minutos al día, para las operaciones de calentamiento del horno y durante un período de 3 minutos consecutivos o no, en el lapso de una hora.

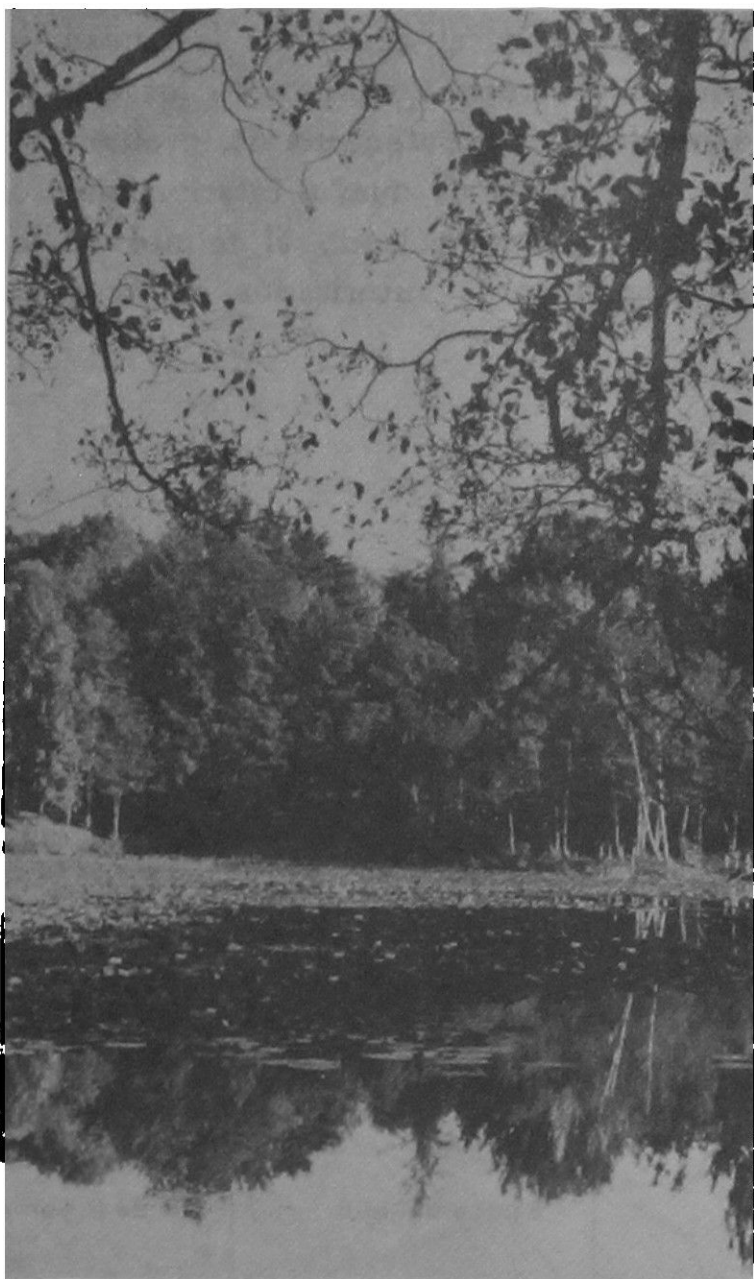
Efectos de los contaminantes atmosféricos

Le correspondió abordar este aspecto en el foro, al licenciado en química y especialista en efectos contaminantes del Insti-

tuto de Investigaciones Tecnológicas, INTEC, Manuel Martínez.

El efecto de los diversos contaminantes sobre la salud humana, los animales, la vegetación y el bienestar en general es grave, de ahí la necesidad de adoptar rápidas y urgentes medidas de control, afirmó Manuel Martínez.

Las enfermedades que comunmente se asocian con los contaminantes, señaló Manuel Martínez son: Bronquitis crónica y aguda, neumonía, enfisema, asma, resfrio común y afecciones al estómago y al esofago.



Lugar libre de contaminación atmosférica.

Efectos del monóxido de carbono

La acción tóxica del monóxido de carbono está relacionada primeramente por su afinidad con la hemoglobina, el componente portador de oxígeno en la sangre. Por lo tanto, la presencia de monóxido de carbono en el aire que respira el hombre, se traduce en una deficiencia de oxígeno en su sangre y en un incremento de la cantidad de

carboxihemoglobina. El fenómeno es definido como un proceso de asfixia química reversible.

Niveles de carboxihemoglobina tan bajos como un 5^o/o en la sangre permiten detectar alteraciones en el metabolismo del ser humano.

Tales niveles resultan de la exposición a concentraciones de monóxido de carbono de 30 ppm durante tiempos de exposición de 8 horas. Efectos directos causados por estos niveles son, además, los deterioros en la capacidad para pensar, pérdida de reflejos, de visión, facultades muy importantes en los conductores de vehículos.

Efectos de las partículas en suspensión

Las partículas están compuestas de una

gran variedad de sustancias como por ejemplo señaló Manuel Martínez, por Fluoros, Berilio, Plomo, Sulfuros y Cloruros, Sulfatos Arsénicos, lo que afecta principalmente al sistema respiratorio, de hombres y animales.

Cuando las partículas se liberan del sistema respiratorio por transferencia a la linfa sangre o sistema gastrointestinal, pueden producir efectos en otros lugares del cuerpo humano tales como el cancer gástrico y al esofago.

Manuel Martínez proporcionó en la oportunidad algunos ejemplos sobre los efectos que producen este tipo de contaminación.

Con niveles de partículas de 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Londres y Nueva York hubo exceso de muertes y considerable aumento de en-



Los vehículos son los mayores responsables de la contaminación.

EFFECTOS ADVERSOS A LA SALUD DEL SER HUMANO ATRIBUIDOS A LA PRESENCIA DE MONOXIDO DE CARBONO EN EL AIRE AMBIENTE

Rango de concentraciones de CO, (ppm) para tiempos de exposición de:	Efectos adversos esperados	Concentraciones máximas observadas en el centro de Santiago, (ppm) 1976 - 1977
8 Horas 20 - 26	- Disminuye tolerancia al ejercicio en personas enfermas del corazón.	
30 - 45	- Pérdidas de reflejos de visión. - Interferencia con la actividad mental. - Aumentan los riesgos de arteriosclerosis*	35 - 55
50 - 65	- Disminuye rendimiento físico en adultos normales.	
65 - 95	- Deterioro del desarrollo fetal.	
1 Hora 64 - 125	- Disminuye tolerancia a ejercicios en personas enfermas del corazón.	
100 - 200	- Interferencia con actividad mental. - Pérdidas de reflejos de visión. - Disminuye rendimiento físico en adultos.	68 - 85

* Efectos esperados después de largos períodos de exposición.

fermedades. Estas fueron exposiciones masivas a corto plazo.

El promedio diario de partículas entre 300 y 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ han sido asociadas, dijo con el empeoramiento agudo de pacientes con bronquitis crónica. Los estudios realizados -- señaló -- han demostrado que los niveles de muerte en personas de 50 a 69 años han aumentado con promedios anuales de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y también se ha visto desafortunadamente que el número de

niños afectados por enfermedades respiratorias ha aumentado enormemente.

La contaminación atmosférica también daña a los materiales y a la agricultura. Respecto al primero, Manuel Martínez señaló que los efectos pueden ser parciales o totales ya sea por corrosión, deterioro y ennegrecimiento de los edificios, destrucción de la piedra caliza, de tejidos, cueros y pinturas. El ataque a los materiales se ve favorecida por la humedad, temperatura,

actividad solar y velocidad del medio.

En cuanto al efecto que la contaminación provoca en los vegetales y agricultura, dijo que se produce ya sea en forma crónica o aguda, quemando sus hojas, inhibiendo el crecimiento y el desarrollo.

Por último Pablo Ulriksen, profesor del Departamento, habló sobre los factores meteorológicos que influyen en la contaminación atmosférica y a las condiciones existentes en Santiago.

En primer término el académico señaló que Santiago está situado en una cuenca, que lo aísla de los vientos. Esta situación se agrava si se considera que la capital cuenta también con un muro, la cordillera, lo que impide que la bruma desaparezca. Asimismo, Santiago está ubicado en una zona sometida a un gran centro de alta presión situado sobre el Océano Pacífico, que impide la pasada de los sistemas frontales que son los que traen las lluvias.

Factores meteorológicos que influyen en la contaminación

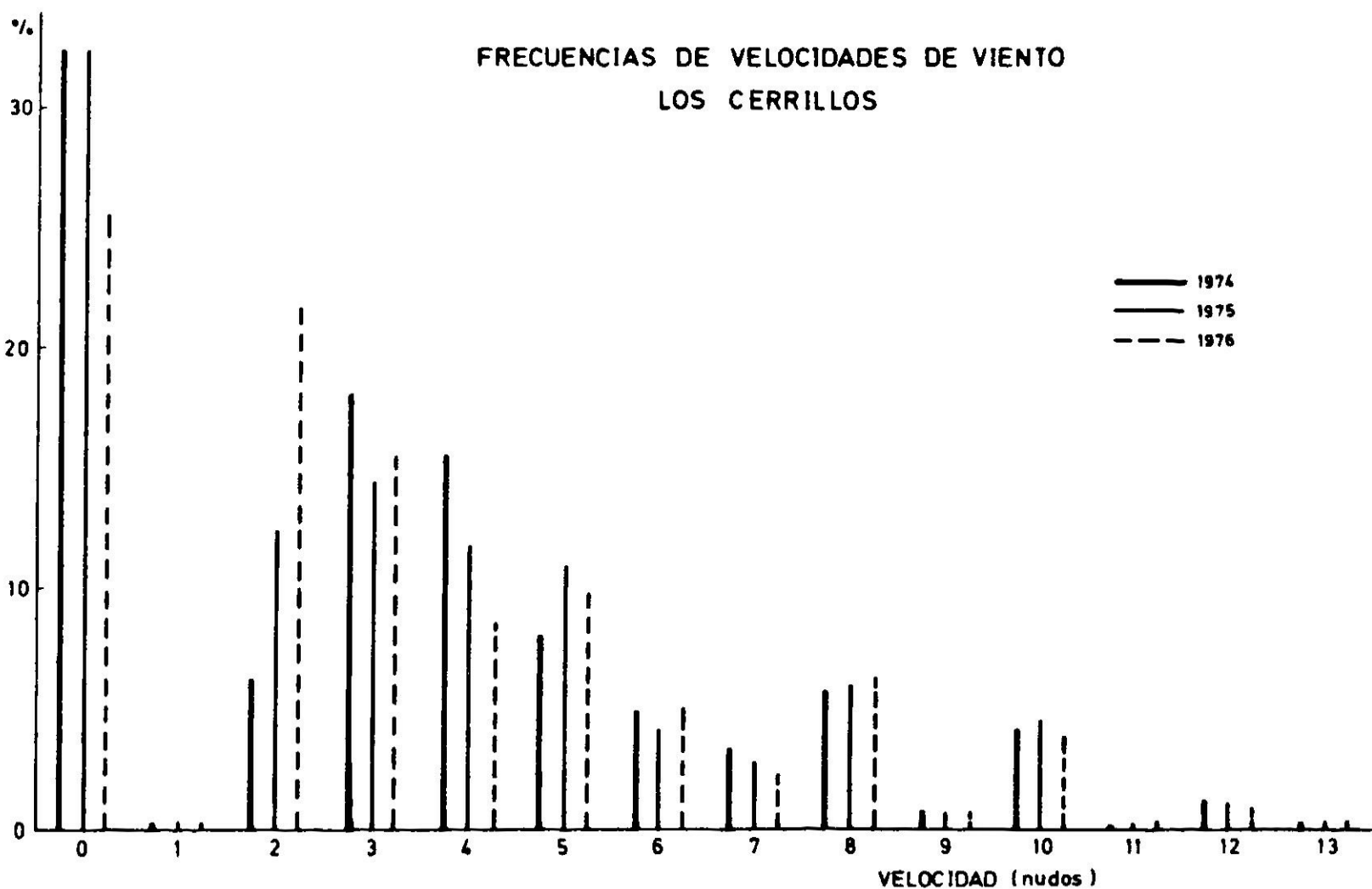
Velocidades del viento en Santiago

Pablo Ulriksen, posteriormente se refirió

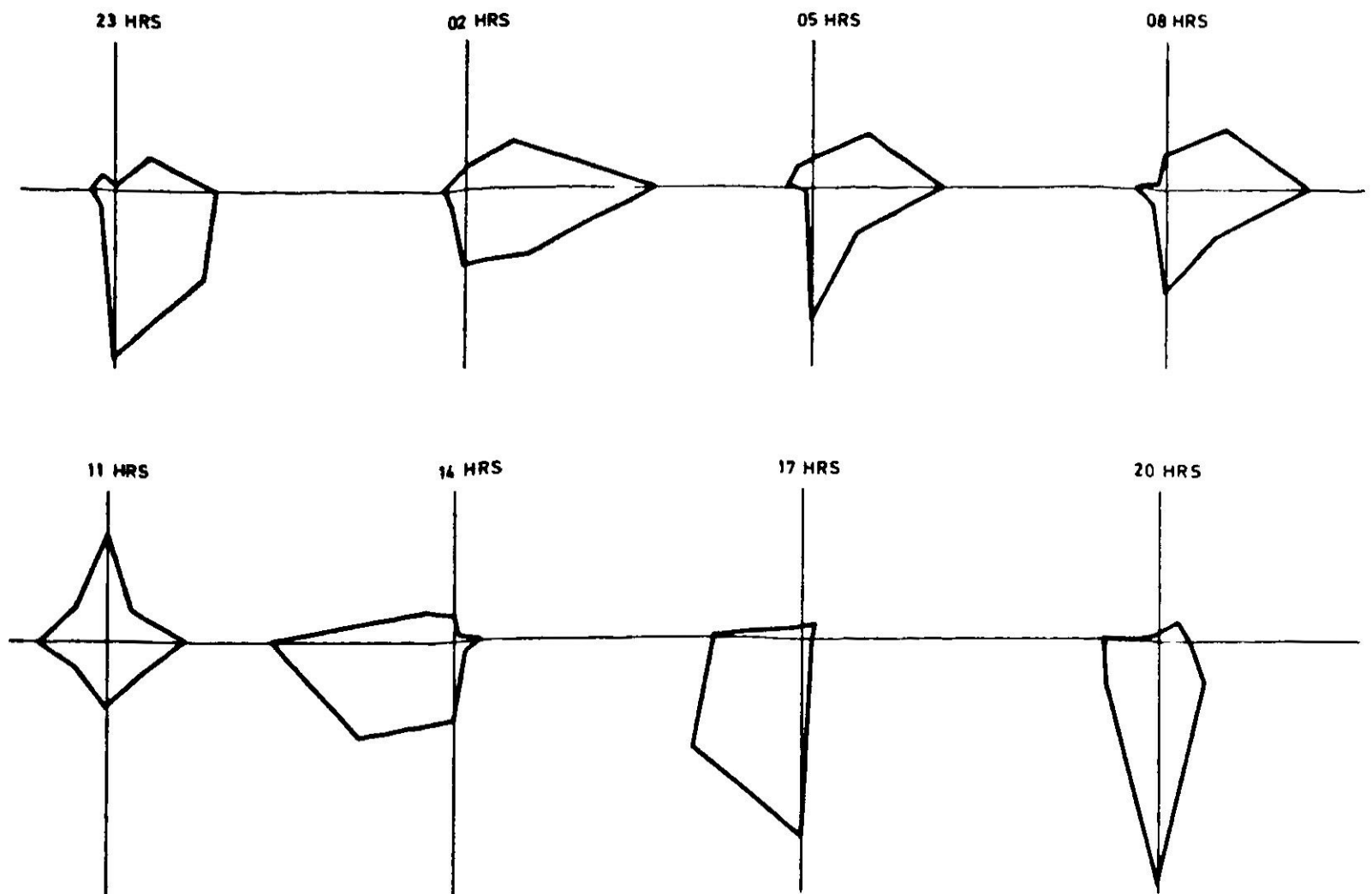
al régimen de vientos en Santiago, que está caracterizado por velocidades muy bajas y un porcentaje alto de calmas.

Señaló que las velocidades se reportan en nudos, en valores enteros (1 nudo = millas nauticas/hora, equivale a 0.5 m/s). *Es particularmente notorio - explicó - el alto porcentaje de calmas (aproximadamente 30 por ciento) y la baja ocurrencia de velocidades superiores a 10 nudos.* El umbral de detección del instrumento parece cercano a dos nudos, lo que explica que prácticamente no se reporten velocidades de 1 nudo. El gráfico que presentó a continuación, Pablo Ulriksen muestra la distribución relativa de velocidades en el Aeropuerto Los Cerrillos, para los años 1974, 1975 y 1976.

Más adelante, Pablo Ulriksen explicó el ciclo diario de las velocidades del viento para dos probabilidades de excedencia (50 y 20%) en invierno y verano. Señaló que el marcado ciclo diario de verano contrasta con la pequeña oscilación diaria de invierno. Sin embargo las velocidades mínimas durante la noche y la madrugada coinciden en ambas estaciones del año. El viento en Santiago parece ser una respuesta al campo térmico y su velocidad máxima presenta



Frecuencia de velocidades de viento, Los Cerrillos.



Ciclos diarios de velocidades de viento para las probabilidades de excedencia de 50 y 20% (Los Cerrillos 1974 - 1976).

un retardo con respecto al máximo de temperatura.

Los mayores porcentajes de calmas, se encuentran comprendidas entre las 23 y las 08 horas. Debido a que las emisiones de contaminantes deben presentar un máximo entre las 07 y 09 horas por la demanda de movilización y comienzo de actividades industrias y oficinas, las concentraciones de contaminantes alcanzarán sus mayores valores a esas horas.

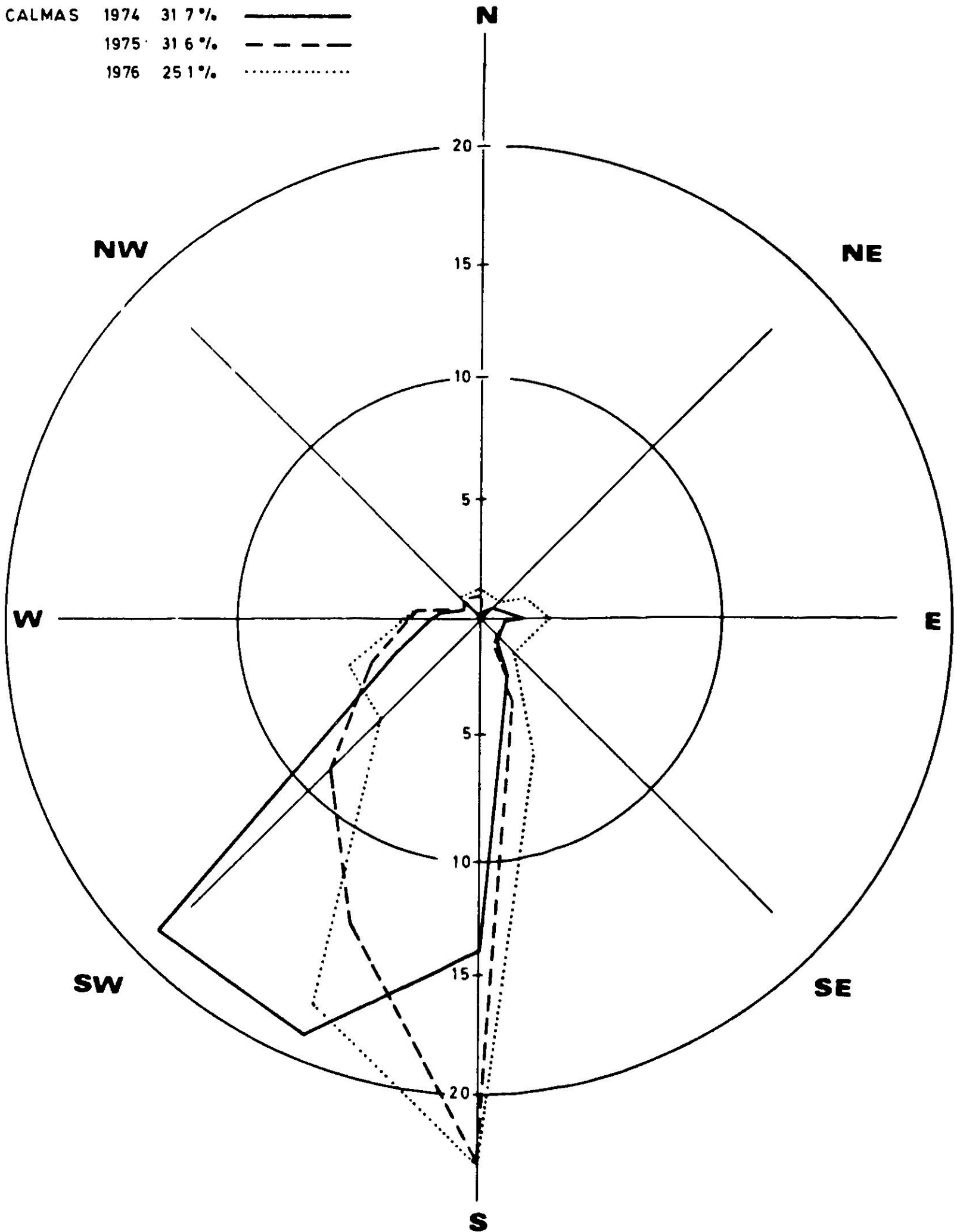
El análisis de las velocidades de viento - dijo - muestra que el ciclo diario es tanto o más importante que el ciclo anual de velocidades, por lo que es recomendable estudiar y modelar la contaminación atmosférica en Santiago, considerando las variaciones de emisiones y parámetros meteorológicos a lo largo del día.

Dirección del viento

Pablo Ulriksen señaló que durante la noche predominan los vientos con dirección E, hasta las 8 horas inclusive. A las 11 horas se produce una transición al régimen diurno. A las 14 horas se presenta principalmente vientos del W a SW que van rotando hacia el S durante la tarde. A las 20 horas predomina aún esa dirección mientras que las direcciones más frecuentes están comprendidas entre el S y principalmente el E, estableciéndose a partir de entonces, el régimen nocturno.

El ciclo de la dirección del viento muestra la importancia que tienen los efectos de calentamiento diferencial y gravitacional sobre el movimiento del aire en la región. Durante la noche, el mayor enfriamiento

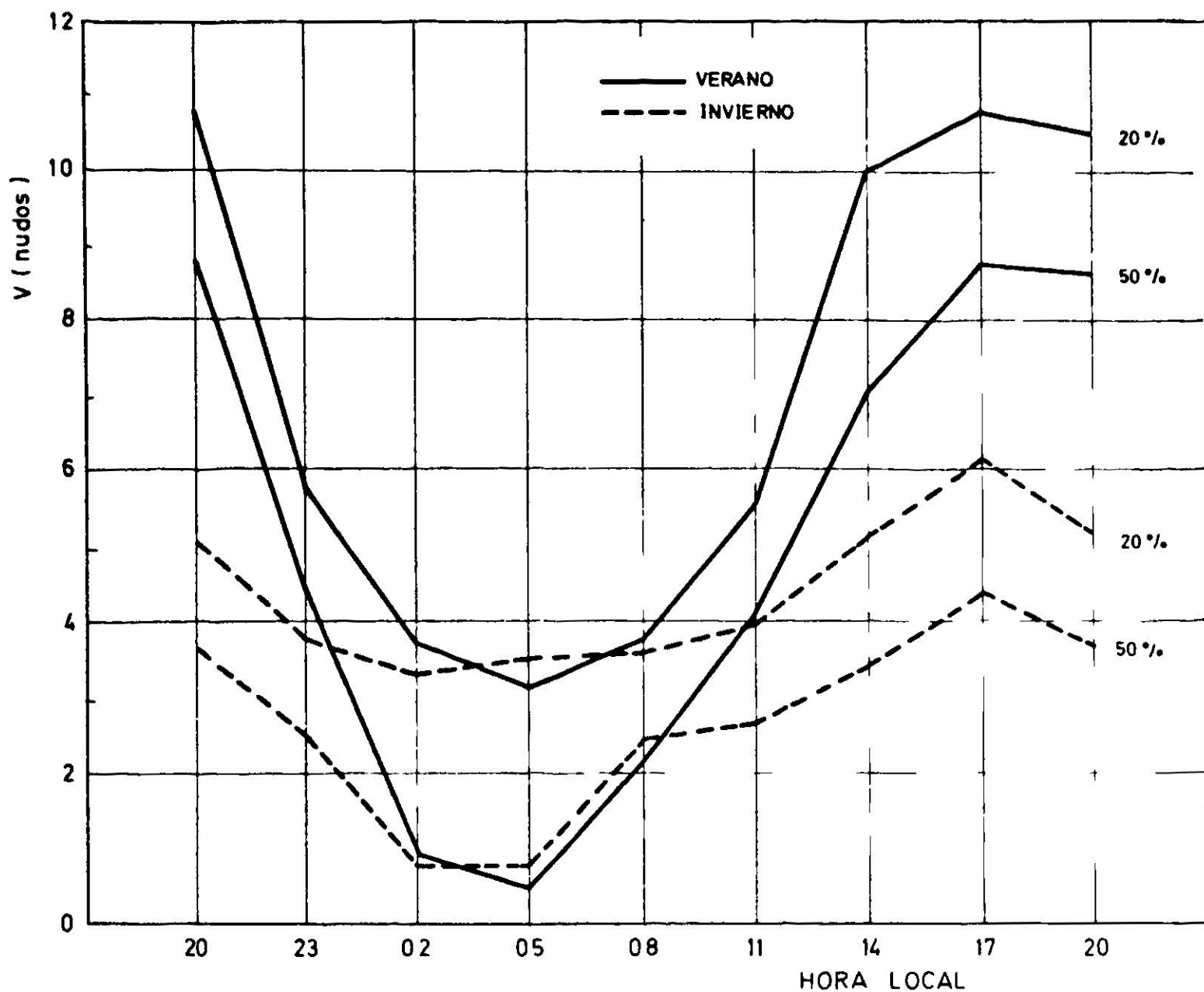
CALMAS	1974	31.7%	—————
	1975	31.6%	- - - - -
	1976	25.1%



Rosa de direcciones de viento en Los Cerrillos (% del tiempo que sopla viento desde una dirección dada).

en la cordillera origina una masa de aire frío que se mueve ladera abajo dando origen a una brisa nocturna con componentes E. Durante el día — prosiguió señalando Pablo Ulriksen — el calentamiento de las laderas origina una brisa de valle con componentes

W, que al alcanzar velocidades significativas es afectada probablemente por efecto de la rotación terrestre que tiende a desviar el viento haciéndolo soplar desde el S. El efecto térmico unido a la pendiente andina provoca un refuerzo del viento S de gran



Direcciones de vientos a diferentes horas del día, Los Cerrillos, mayo, junio, julio 1976. Las calmas han sido distribuidas en cada hora según las frecuencias observadas de las direcciones.

escala durante el día y una disminución durante la noche. En verano, el ciclo diario no aparece bien definido a través de las observaciones de Los Cerrillos. Probablemente la brisa diurna del S-SW no alcanza a desacelerarse completamente en la noche. Observaciones indirectas indican que la brisa nocturna con componente E se aprecia durante todo el año en la parte oriente de la ciudad de Santiago, a los pies de la cordillera.

Pablo Ulriksen manifestó que el análisis estadístico del viento y la estabilidad atmosférica realizado en Santiago, correspondiente a tres años de observaciones meteorológicas en el Aeropuerto Los Cerrillos, entregó las siguientes conclusiones.

El potencial de contaminación atmosférica de Santiago es extremadamente alto, debido al predominio de vientos muy débiles (50% del tiempo por debajo de 1.2 m/s) y condiciones atmosféricas de gran estabilidad (50% del tiempo). Las peores condiciones para la dispersión de contaminantes

ocurre durante el invierno en el período comprendido entre las 05 y las 10 horas cuando las velocidades del viento pasan por un mínimo y predominan las condiciones de gran estabilidad atmosférica.

El viento en Santiago presenta un marcado ciclo diario tanto en intensidad como en dirección. Las variaciones diarias del viento parecen ser más importantes que las variaciones estacionales. Las velocidades máximas de viento se alcanzan en la tarde, unas dos horas después de la ocurrencia del máximo de temperatura. La dirección del viento presenta una rotación a lo largo del día desde el W (mediodía) hasta el E (medianoche) pasando por el S. La velocidad máxima del viento corresponde a una dirección comprendida entre el SW y el S.

Las condiciones que favorecen una alta contaminación atmosférica aumentan en los meses fríos, por disminución de las velocidades del viento y por aumento de la frecuencia de ocurrencia de condiciones estables.