APÉNDICE.

I.

RESÚMEN

DE LAS

OBSERVACIONES CIENTÍFICAS

HECHAS EN LOS DOCE VIAJES PRECEDENTES (1).

Las ascensiones científicas que he llevado á cabo me han permitido observar ciertos hechos importantes, cuyo conocimiento me parece propio para arrojar alguna luz sobre los problemas aún tan oscuros de la meteorología. Persuadido de que todos los movimientos de la atmósfera están sometidos á leyes regulares, lo mismo que los de los cuerpos celestes, cuya medida constituye hoy dia el firmísimo edificio de la astronomía moderna, he creido que sería útil para la fundacion de la ciencia del tiempo intentar ver de cerca el mecanismo de la formacion de las nubes, la circulacion de las corrientes, el estado físico de las diferentes capas de aire, observar, en una palabra, transportándose á

(1) Extracto de las *Actas* del Instituto (Academia de Ciencias).

él, el mundo atmosférico en su accion múltiple y permanente. La perspectiva de los beneficios que la ciencia meteorológica derramará un dia sobre el trabajo del hombre; el exámen de la conexion de esta ciencia con la astronomía y la física del globo, por una parte, y con la fisiología de la vida de las plantas, de los animales y del hombre mismo por otra, han sostenido mi confianza en la utilidad de estas excursiones aéreas. Estas doce ascensiones se han efectuado en diversas condiciones atmosféricas, de noche como de dia, por la mañana y por la tarde, con cielo cubierto y con cielo despejado. Algunos de estos viajes han durado doce y quince horas (1).

El programa es extenso y complexo. Sin embargo, el conjunto de las observaciones se divide en los siguientes títulos:

1.° Ley de la variacion de la humedad en el aire, segun la altura;

2.° Aumento del poder diatermano del aire y de la radiacion solar con la altura y la disminucion de la humedad;

3.° Circulacion de las corrientes; su desviacion giratoria y los movimientos generales de la atmósfera; intensidad y velocidad; variaciones locales.

4.° Ley del descenso de la temperatura del aire; sus variaciones;

(1) Con verdadero placer he visto que esta serie de viajes ha sido el punto de partida del incremento de la aerostacion científica en Francia. Efectuaba mi sexto viaje aéreo (de París á Angulema, el 23 de Junio de 1867), cuando M. W. de Jonvielle subia por primera vez á las llanuras del aire, y un año despues comenzaba M. G. Tissandier, á su vez, sus numerosas é importantes expediciones aeronáuticas. Indudablemente tendremos sucesores: *¡Sic itur ad astra!*

5.° Nubes: forma, altura, dimensiones; estado higrométrico y calorífico; fenómenos, etc.;

6.° Experimentos diversos relativos á la acústica, á la óptica, á la mecánica, á la física del globo, á la astronomía, etc.

I.

LEY DE LA VARIACION DE LA HUMEDAD EN EL AIRE SEGUN LA ALTURA.

En doce series de observaciones especiales, que representan próximamente seiscientas posiciones diferentes, la distribucion del vapor de agua en las capas atmosféricas ha seguido una regla constante, que se puede enunciar en estos términos:

1.° La humedad del aire crece, á partir de la superficie del terreno, hasta cierta altura. 2.° Esta humedad llega á una zona en la cual queda en su máximum. 3.° A partir de esta zona decrece y disminuye constantemente á medida que el observador se eleva en las regiones superiores.

La zona, á la cual daré el nombre de *zona de humedad máximum*, varía de altura segun las horas, segun las épocas y segun el estado del cielo.

No la he hallado próxima á la superficie del terreno, sino en muy raras circunstancias (principalmente durante la aurora).

Esta marcha general de la humedad es constante, lo mismo con el cielo despejado que cubierto, y se manifiesta en las observaciones hechas durante la noche lo mismo que en las diurnas.

Los cuadros higrométricos levantados al terminar cada viaje, demuestran evidentemente la permanencia de esta ley.

Relativamente á la altura de la zona máximum y á la proporcion del crecimiento de la humedad, se presentan diferencias considerables. Así resulta que el 10 de Junio de 1867, y á las cuatro de la mañana (viento Nordeste), al salir el sol y sobre la linde del bosque de Fontainebleau, la zona máximum estaba á 150 metros solamente de la superficie del terreno. El higrómetro, construido especialmente para estos estudios, marca 83° al nivel del suelo y se eleva rápidamente hasta 98, que alcanza á 150 metros. A partir de aquí, empieza á descender á medida que el aerostato se eleva, marcando 92° á 300 metros, 86 á 750, 65 á 1.100, 60 á 1.350, 54 á 1.700, 48 á 1.900, 43 á 2.200, 36 á 2.400, 30 á 2.600, 28 á 2.900, 26 á 3.000 y 25 á 3.300 metros. La atmósfera se hallaba excesivamente limpia y sin la menor nube.

En otra ascension, el 15 de Julio, á las cinco y cuarenta minutos de la mañana (viento Sudoeste), descendiendo de una altura de 2.400 metros sobre el Rhin, en Colonia, he encontrado la zona máximum á 1.100 metros. El cielo no estaba completamente despejado. La humedad relativa del aire era de 62° á 2.400 metros, de 64 á 2.200, de 75 á 2.000, de 85 á 1.800, de 90 á 1.600, de 92 á 1.550, de 95 á 1.330, de 98 á 1.100 metros. Esta es la zona máximum. Despues, á medida que el aerostato desciende, disminuye la humedad. A 840 metros habia descendido ya á 92°, á 706 á 90, á 510 á 87, á 240 á 84, á 50 metros del suelo á 83 y en la superficie de él á 82°. Siguiendo el mismo descenso se habia elevado el termómetro de 2 á 18° centígrados.

El 15 de Abril de 1868, á las tres de la tarde (viento Norte), partí del jardin del Conservatorio de Artes y Oficios y comprobé una marcha análoga en la variacion de la humedad. A la partida, en el jardin, marca el higrómetro 73°, se eleva á 74 á 776 metros, y acusa 75 á 900, 76 á 1.040 y 77 á 1.150. Esta es la posicion de la zona máximum. La humedad decrece en seguida progresiva y constantemente; es de 76° á 1.230 metros, de 73 á 1.345, de 62 á 1.573, de 59 á 1.608 y de 56 á 1.650 metros. A 2.000 metros la humedad ambiente desciende á 48°, á 2.400 metros es de 36, á 3.000 de 31 y á 4.000 metros es de 19°.

Esta ascension se efectuó con el cielo cubierto. El máximum de humedad estaba un poco más abajo de la superficie inferior de las nubes.

El 23 de Junio de 1867, á las cinco de la tarde (viento Nor-Nordeste), se hallaba la zona máximum á 555 metros, é igualmente debajo de las nubes.

El 30 de Mayo, á las cuatro de la tarde (viento Nor-Noroeste), la humedad crece desde la superficie del suelo á 500 metros, y se eleva de 67 á 75°.

El resultado general demuestra, por tanto, que la humedad aumenta desde la superficie del suelo hasta una cierta altura variable, y *decrece en seguida hasta las mayores alturas*. No me considero aún con derecho para precisar estas variaciones proporcionales; causas complexas dificultan el establecer una regla general. Independientemente de la altura, la humedad del aire varía segun la hora, la elevacion del sol sobre el horizonte, el estado del cielo, y á veces tambien segun la naturaleza seca ó húmeda de los terrenos, sobre los cuales pasa el aerostato. A pesar de esto, la ley general enunciada anteriormente me parece que puede adop-

tarse como una observacion constante. Insisto tanto más sobre este hecho, cuanto que el conocimiento de la variacion de la humedad relativa del aire se considera como el elemento más importante de las bases meteorológicas.

II.

CRECIMIENTO DEL PODER DIATERMANO DEL AIRE Y DE LA RADIACION SOLAR CON LA ALTURA Y CON LA DISMINUCION DE LA HUMEDAD.

Cuando se ha pasado de las regiones inferiores de la atmósfera, y en general á la altura de 2.000 metros, se comprueba el crecimiento muy sensible del calor del sol relativamente á la temperatura del aire ambiente. Jamás me ha impresionado tanto este hecho como en la mañana del 10 de Junio de 1867, en que hallándonos, á las siete, á una altura de 3.300 metros, tuvimos durante una media hora 15° de diferencia entre la temperatura de nuestros piés y la de nuestras cabezas, ó por mejor decir, entre la temperatura del interior de la barquilla (sombra) y la del exterior (sol). El termómetro marcaba 8° á la sombra y 23 al sol. Miéntras nuestros piés sufrian aquel frio relativo, un sol ardiente nos quemaba la cara, y en general, todas las partes del cuerpo expuestas directamente á la radiacion solar.

El efecto de este calor se aumentó aún por la ausencia de la más ligera corriente de aire.

En una ascension posterior á ésta he experimentado al mismo tiempo la singular diferencia de 20° entre la temperatura de la sombra y la del sol á 4.000 metros

de altura. El primer termómetro marcaba 9°,5 bajo cero, y el segundo 10°,5 sobre cero.

Esta diferencia entre la temperatura del aire y la de un cuerpo expuesto al sol, se acusa y se manifiesta en razon de la disminucion de la humedad. La radiacion solar, la diferencia entre el calor directamente recibido del radiante astro y la temperatura del aire, *aumenta* á medida que *disminuye* la cantidad de vapor de agua distribuido en la atmósfera. La comprobacion permanente de la transparencia del aire privado del agua por el calor, establece que el vapor de agua desempeña el papel más principal en la accion de *conservar el calor solar en la superficie de la tierra.*

Estos resultados deben estar más libres de toda influencia extraña que los que provienen de observaciones hechas sobre las montañas, porque, en este último caso, la presencia de las nieves y de la irradiacion debe ejercer un efecto constante, miéntras que las observaciones aeronáuticas se efectúan en regiones absolutamente libres.

III.

CIRCULACION DE LAS CORRIENTES; SU DESVIACION GIRATORIA Y MOVIMIENTOS GENERALES DE LA ATMÓSFERA; INTENSIDAD Y VELOCIDAD; VARIACIONES LOCALES.

Sumergido en la corriente atmosférica que le conduce, se halla el aeronáuta colocado en la mejor condicion posible para conocer la direccion constante de la corriente, como tambien para medir su velocidad. He procurado en cada uno de mis viajes trazar exacta-

mente sobre el mapa de Francia ó de Europa la proyeccion de la línea aérea seguida por el aerostato, con ayuda de puntos de partida ó jalones, que pueden tomarse fácilmente cuando el cielo está despejado, y que áun con cielo nublado pueden siempre obtenerse, bien aprovechando las claras, bien descendiendo de vez en cuando debajo de las nubes.

El aerostato marca tan perfectamente la direccion y la velocidad absoluta de la corriente, que la primera sensacion que se experimenta al navegar por los aires es la de una inmovilidad completa. Es una impresion completamente especial y siempre sorprendente la de bogar con la velocidad del viento y no sentir ningun soplo de aire, ni la menor brisa, ni el más ligero movimiento, áun cuando se halle arrebatado el aeronáuta por la más violenta tempestad. No he experimentado sino muy raras veces una buena brisa, principalmente el 15 de Abril de 1868 y el 11 de Setiembre de 1872, indudablemente porque el aerostato nos arrojaba entónces en remolinos en los cuales se contrariaban diversas corrientes.

La corriente oceánica, el viento del Sudoeste, reinan sobre Francia con mucha más frecuencia de lo que indican las observaciones meteorológicas del Observatorio de París y las conclusiones fundadas oficialmente sobre estos datos. Miéntras la veleta gira á todos vientos, á algunos centenares de metros de altura reina permanentemente esta corriente durante semanas y meses enteros. No es raro encontrar muchas corrientes superpuestas de variadas direcciones y alcanzar sobre ellas la gran direccion Nordeste. El 28 de Agosto de 1874 existian *cuatro corrientes superpuestas* dominadas por la corriente superior que nos condujo á Spa.

Otro hecho capital resulta evidentemente del trazado de mis diferentes líneas aéreas. Todas ellas se inclinan en el mismo sentido, en virtud de una desviacion giratoria general.

Así, por ejemplo, el 23 de Junio de 1867, el aerostato, conducido por un viento Norte, corre primero en la direccion del Sur y despues forma hácia el Oeste un ligero ángulo con la línea del meridiano de París; este ángulo, en un principio muy débil, puesto que el globo pasa al Este de Orleans, atravesando el 48° de latitud, se va acusando despues más y más. Al atravesar el 47° se hace la direccion Sud-Sudoeste; á llegar al 46° es completamente Sudoeste, y con ella llegamos á Larochefoucault, cerca de Angulema. Habiendo partido de París la víspera, á las cuatro y cuarenta y cinco minutos, resulta que habíamos recorrido 480 kilómetros en once horas y treinta y cinco minutos, con velocidades crecientes, de que trataremos despues.

Este movimiento giratorio de las capas atmosféricas acusado en este viaje, se ha manifestado de una manera análoga en diferentes travesías. El 18 de Junio de 1867 partimos con viento Este-Nordeste, y bogando primero hácia el Oeste-Sudoeste, pasamos por el zenit de Versailles. Cortando el ángulo del bosque de Rambouillet, despues de haber atravesado el estanque de Saint-Hubert, vamos á echar el ancla en Villemeux, al Sudoeste de Dreux. Remolcados en globo cautivo hasta esta poblacion, nos elevamos de nuevo durante la noche, y desde entónces bogamos completamente hácia el Oeste. Desde el 1.° al 2.° grado de longitud continúa acentuándose la rotacion. Pasamos sobre Verneuil y Laigle, y vamos á descender en Gacé (Orne), conducidos en la direccion Oeste, inclinada ya hácia el Norte.

En la noche del 9 al 10 de Junio, despues de detenernos en la linde del bosque de Fontainebleau, en Barbizon, nos remontamos por la mañana en la atmósfera, y siguiendo una curva, que se ha acentuado cada vez más durante nuestra escala, á pesar del estado de calma de la atmósfera, torcemos al Sudoeste para ir á descender cerca de Lamothe-Beuvron, al Sud de Orleans.

El 15 de Abril de 1868 sale el aerostato del Conservatorio, bogando primero hácia el Sud-Sudoeste, pasa por el zenit del Observatorio, deja al Oeste á Bourg-la-Reine y Lonjumeau y pasa sobre Arpajon y Etampes. Seguimos sencillamente la línea del camino de hierro de Orleans, dejando á nuestra derecha Angerville, Arthenay y Chevilly, y despues, atravesando la selva de Orleans, llegamos sobre el Loira, torciendo cada vez más hácia el Sudoeste. Despues de haber dejado Orleans á la izquierda de nuestra ruta *seguimos el curso del Loira* para descender en Beaugency, habiendo trazado constantemente un arco de círculo que nos llevaba hácia el Sudoeste.

Esta desviacion giratoria se debe probablemente á la rotacion de la tierra.

Otra evidencia resulta igualmente del conjunto de mis observaciones: en general, *la velocidad del aire crece con la altura.*

Esta velocidad varía igualmente con las horas del dia. En la capa inferior el aire está en calma al ponerse el sol y durante la noche. Al salir el sol aumenta la velocidad del viento, para disminuir ántes de medio dia y elevarse á su máximum por la tarde.

La velocidad de una misma corriente no es regular. Mi diario de á bordo registra la proporcion siguiente

en el *crecimiento* de velocidad durante el viaje de París á Angulema: $4^m,67$ por segundo al salir de París; $7^m,40$ desde Fontenay-aux-Roses hasta Sermaises; $8^m,17$ desde Sermaises al Loira; $10^m,25$ desde el Loira al Creuse; y $12^m,12$ desde el Creuse hasta Larochefoucault. Nuestra mayor altura corresponde á la velocidad de 9 metros.

El 30 de Mayo, de París á Fontainebleau, la velocidad es de $7^m,16$ en el momento de la partida y de $10^m,33$ á la llegada.

El 19 de Junio, en una ascension nocturna, desde la una y veinticinco hasta las tres y veinticinco de la madrugada, de Dreux á Gacé, la velocidad media del aerostato es de $10^m,40$ durante la primera hora y de $11^m,95$ durante la segunda.

El 14 de Julio, de París á Colonia, la velocidad va aumentando hasta media noche, y el máximum (14 metros) se manifiesta sobre Bélgica, desde Dinan á Namur, en medio de la noche y á la altura de 1.600 metros.

El 15 de Abril de 1868 la velocidad ha ido siguiendo una progresion creciente. Sin embargo, á la mitad del viaje y á nuestra mayor altura se ha manifestado un máximum ($14^m,20$).

El 11 de Setiembre de 1872 nos trasladamos de París á Vaucouleurs en nueve horas, quince minutos; velocidad media: 28 kilómetros por hora; velocidad regular al pasar de la altura de 1.000 metros; corrientes encontradas sobre el valle del Marne.

El 28 de Agosto de 1874 y el 27 de Julio de 1880, la mayor velocidad corresponde á la mayor altura.

Los relieves ó desigualdades del terreno obran sobre la direccion de las corrientes, sobre su temperatura y