T E S I S  D O C T O R A L

# La abstracción climática, realidad meteorológica y la aproximación geográfica; el clima de Andalucía desde perspectivas del análisis regional con tipos de tiempo

Por José Manuel Castillo Reque

Dirigida por Francisco Villegas Molina

Facultad de Flosofía y Letras
Departamento de Análisis
Geográfico Regional y Geografía Física

U N I V E R S I D A D  D E  G R A N A D A.

# UNIVERSIDAD DE GRANADA

## ACTA DEL GRADO DE DOCTOR EN HISTORIA (GEOGRAFIA)

de 1988 a 1989 Folio ..... Número 466

unido en el día de la fecha el Tribunal nombrado para el Grado de Doctor de D. Jose Manuel Castillo Requena, ....., el aspirante leyó un discurso sobre el siguiente de libremente había elegido: "La abstracción climática, la realidad meteorológica y la aproximación geográfica: el clima de Andalucía desde las perspectivas del análisis regional con los tipos de Tiempo"

minada la lectura y contestadas las objecciones formuladas por los Jueces del Tribunal, éste le le Aptocum laude por unanimidad.

Granada 7 de Octubre de 1988

El Secretario del Tribunal,

EL PRESIDENTE,

El Vocal, El Vocal, El Vocal,

Firma del Graduando,

IDURA . . En el día de la fecha se ha conferido a D. .....
.....el Grado de Doctor en la Facultad de .....,
conforme a lo prevenido en las disposiciones vigentes.

Granada ..... de ..... de 19.....

EL DECANO,

CO: Que el Acta que antecede concuerda con la del expediente del interesado remitida a la Secretaría de la Universidad.

Granada ..... de ..... de 19.....

El Catedrático Secretario,

º B.º
ECANO,

A G R A D E C I M I E N T O S :

Al profesor Villegas Molina, director de este trabajo. Al Instituto Nacional de Meteorología y a los Centros Zonales Meteorológicos de Sevilla, Badajoz, Málaga y Murcia asi como a las Comisarías de Aguas del Guadalquivir, Sur, Guadiana y Segura por las facilidades dadas en la recogida de datos y de información en general. A todas cuantas personas me han ayudado y apoyado en la realización de esta Tesis y, muy especialmente, a Africa García y a Jesús Castillo.

# INDICE.

INTRODUCCION. 1

PARTE PRIMERA: PAUTAS PARA EL NACIMIENTO Y DESARROLLO DE LA CLIMATOLOGIA: EL PROCESO DE APROXIMACION DEL CLIMA, CONCEPTO ABSTRACTO, AL TIEMPO ATMOSFERICO, HECHO REAL. 4

I. CONCEPTO DE "METEOROS", CONCEPTO "KLIMA" Y CONSIDERACION DE LOS HECHOS CLIMATICOS EN LA ANTIGUEDAD. 11

I.1. EL CONCEPTO DE METEOROS. 11
I.2. EL "KLINEIN" Y EL "KLIMA" 14
I.3. LAS CONSIDERACIONES DE LOS HECHOS CLIMATICOS EN EL PERIODO PRECIENTIFICO. 20

II. EL CONTEXTO DE LA EDAD MODERNA, LOS DESCUBRIMIENTOS A TRAVES DE LAS EXPLORACIONES Y DE LA NUEVA CIENCIA: CLAVES PARA LA FORMULACION DE LOS CONCEPTOS DE TIEMPO ATMOSFERICO Y DE ATMOSFERA. BASES PARA EL NACIMIENTO DE LA CLIMATOLOGIA. 26

II.1. LA NUEVA CIENCIA 26
II.2. LA CONSIDERACION DE LOS HECHOS CLIMATICOS EN EL CONTEXTO GENERAL DE LA EDAD MODERNA 42.

III. EL CONTEXTO DE LA APLICACION DE LOS PRESUPUESTOS DE LA NUEVA CIENCIA Y DE LA FISICA MODERNA A LA INTERPRETACION EXPLICITA DEL AMBITO AEREO. EL DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS MODERNOS DE ATMOSFERA Y DE TIEMPO ATMOSFERICO. 51

III.1. LA CONCEPCION DE LA ATMOSFERA A PARTIR DE SU CONCEPCION FISICA. 53

III.2. LA CONCEPCION CIENTIFICA DEL TIEMPO: EL TIEMPO ATMOSFERICO, LOS METEOROS COMO FENOMENOS ATMOSFERICOS. 59

III.2.1. El inicio de las concepciones científicas del tiempo: las concepciones descriptivo locales. 61

III.2.2. El inicio de las concepciones descriptivo-sinopticas del tiempo. 63

III.2.3. Las concepciones explicativo-tridimensionales del tiempo. 70.
III.2.3.1. El desarrollo de la termodinamica atmosferica y la introducción del concepto de energia. 73

III.2.3.2. El desarrollo de la consideración de las leyes del movimiento. 77

IV. EL CONTEXTO DE APLICACION DE LOS CONCEPTOS Y ELABORACIONES DE LA FISICA Y DE LA METEOROLOGIA A LA INTERPRETACION DEL CLIMA. LA FORMACION DEL CONCEPTO DE CLIMA COMO UN OBJETO DE ESTUDIO NUEVO. 87

IV.1. LA CONSIDERACION DE LOS HECHOS CLIMATICOS A FINALES DE LA EDAD CONTEMPORANEA. LA DEFINICION DE "CLIMA FISICO" Y LA PREFIGURACION DE LA CLIMATOLOGIA. 89.

IV.1.1. El concepto de clima fisico. 105

IV.1.2. La Prefiguracion de la Climatologia. 110.

IV.2. LA CONSIDERACION DE LOS HECHOS CLIMATICOS EN LA EDAD CONTEMPORANEA. LA CONCEPCION DE CLIMA METEOROLOGICO Y EL DESARROLLO DE LA CLIMATOLOGIA CINETIFICA EN SUS DIFERENTE VETIENTES. 115.

IV.2.1 El concepto de "Clima meteorológico" y la configuración de la Climatología Científica Contemporánea. 119.

IV.2.2. La vertiente estadistico-aplicada de la formulación climatológica. 121.

IV.2.3. La vertiente fisico-teórica de la formulación climatológica . 138
IV.2.3.1. La Climatología Dinámica y la Climatología Sinóptica en el marco de la Climatología. 147
IV.2.3.2. La Climatología Sinóptica en el marco de la Geografía. 151
IV.2.3.3. La Climatologia de los Balances o Climatología de la Capa Limite en el marco de la Fisica Atmosférica. 160.

V.LA APROXIMACION DEL CLIMA AL TIEMPO: RECAPITULACION SOBRE LAS CARACTERISTICAS, ORIENTACIONES Y METODOS DE LA CLIMATOLOGIA CIENTIFICA PARA LA ELECCION DE NUESTRO METODO DE TRABAJO. 165.

V.1. LA ELABORACION CLIMATOLOGIA DESDE LA PERSPECTIVA ANALITICA, SEPARATIVA O TRADICIONAL. CARACTERISTICAS Y PLANTEAMIENTOS METODOLOGICOS. 169.

V.1.1. La Climatología Tradicional y su orientación aplicada. 174.

V.1.2. La Orientación Explicativa en la perspectiva tradicional: "la metodología geográfica". 176.

V.2. LAS OBJECIONES A LA CLIMATOLOGIA SEPARATIVA. 181

V.3. LOS REPLANTEAMIENTOS METODOLOGICOS DE LA CLIMATOLOGIA. 191

V.3.1. El giro de la Climatología hacia los métodos basados en los procesos climatogenéticos y la configuración de la "Climatonomía", "Climatología Física" o "Climatología Teorica", sobre el análisis de la dinámica y de los balances atmosféricos. 192
V.3.1.1. La Climatología Dinámica. 197
V.3.1.2. La Climatología de los Balances. 199
V.3.2. El replanteamiento de la Climatología a través del método de la "Climatología Compleja". 203

V.3.3. La Climatología Sinóptica y la complementación de métodos climatológicos. 205.

VI. NUESTRA ELECCION METODOLOGICA EN EL ANALISIS REGIONAL DEL CLIMA DE ANDALUCIA Y LOS FINES Y FUENTES DEL PRESENTE ESTUDIO. 213.

PARTE SEGUNDA: LOS FACTORES Y LOS TIPOS DE TIEMPO SINOPTICOS Y FISIONOMICOS EN ANDALUCIA. 220

I. LOS FACTORES DEL CLIMA DE ANDALUCIA. 221.

I.1. LA LATITUD. 221

I.1.1. La Latitud, el "Clima Solar" y el Balance de Radiación. 222.
I.1.1.2. La Latitud y la Circulación Atmosférica. 227.
I.1.3. La Latitud y la Estacionalidad. 236.

I.1.4. La Latitud y la Situaciones Sinópticas de Andalucía. 237.

I.2. FACTORES AZONALES. 238.

I.2.1. Los conjuntos marítimos del entorno andaluz. 239.
I.2.1.1. El Atlantico. 241.
A. La masa de aire Artico marítimo. (A.m.). 243.
B. Aire Polar marítimo (P.m.). 245.
C. Masa de Aire Tropical marítimo (T.m). 248.
D. Aire Polar marítimo de retorno (t.m.P.). 249.
E. El Frente Polar. 251.
I.2.1.2. El Mediterráneo. 252.
A. Las masas de aire en la convergencia mediterránea. 256.

B. La masa de aire Mediterránea. 259.
C. Frontogénesis en el Mediterráneo. 262.

I.2.2. Los conjuntos continentales. 264.
I.2.2.1. El continente africano. 265.
A. Aire Tropical continental. 265.
I.2.2.2. El Continente Euroasiatico. 268.
A. Aire continental europeo (A.c. y P.c). 269.
I.2.2.3. El interior Ibérico. 271.

I.2.3. Los accidentes geográficos y los núcleos de presión atmosférica. 272.
I.2.3.1. Centros de acción permanentes: Anticiclón de Azores y Depresión de Islandia. 275
A. La Depresión de Islandia. 275.
B. El Anticiclón de las Azores. 276.
I.2.3.2. Centros de acción semipermanentes: Depresión térmica Sahariana y Anticiclón frio Europeo. 277.
A. La cuestión del Alta Ibérica y la Depresión Peninsular. 278.
I.2.3.3. Nucleos de presión esporádicos. 280.

I.2.4. Los factores azonales y las situaciones sinópticas de Andalucía. 285.

I.3. FACTORES INTRAZONALES. 290.

I.3.1. El relieve interior de Andalucía: factor geográfico decisivo en su clima. 291.
I.3.2. Los factores intrazonales y las situaciones sinópticas de Andalucía. 300.

II. LOS TIPOS DE TIEMPO EN ANDALUCIA. 305.

II.1. LAS BASES PARA LA CLASIFICACION Y LA DEFINICION DE LOS TIPOS DE TIEMPO DE ANDALUCIA. 305.

II.1.1. Las configuraciones generales de la circulación como criterio básico de nuestra clasificación. 308.
II.2.1.2. Las situaciones particulares de circulación sobre Andalucía en nuestra clasificación. 310.
II.2.2.1. Modelos sinópticos ciclónicos. 312.
II.1.2.2. Modelos sinópticos anticiclónicos. 316.
II.1.2.3. Pantanos barometricos y situaciones mal definidas: (P/. 318.

II.1.3. Las condiciones de desplazamiento de las masas de aire en nuestra clasificación. 318.
II.1.3.1. Direccionales: (N),(NW),(W),(SW),(S),(E) y (NE). 321.
II.1.3.2. Subdireccionales: (nw),(w),(sw),(s) y (e).323
II.1.3.3. Adireccionales: (a), (b), (m), (p). 324.

II.1.4. Los conjuntos geográficos en nuestra clasificación. 324.

II.1.5. Los tipos de masas de aire en nuestra clasificación. 326.

III.DESCRIPCION DE LOS TIPOS DE TIEMPO. 330.

III.1. DIRECCIONALES DEL NORTE CON ADVECCIONES BOREALES CIRCUMPOLARES: (AN) y (CN). 330.

III.1.1. Las situaciones (AN). 333
III.1.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (AN). 333.
III.1.1.2. Principales rasgos dinámicos de los direccionales del Norte bajo régimen anticiclónico. 338.

III.1.2. Las situaciones (CN). 340.
III.1.2.1. El tipo de tiempo fisionómico (CN). 340.
III.1.2.2. Principales rasgos dinámicos de los direccionales del Norte bajo régimen ciclónico.349.

III.2. DIRECCIONALES DEL NOROESTE CON ADVECCIONES BOREALES ATLANTICAS DESDE LA CUENCA DE ISLANDIA Y MAR DE LABRADOR: (AN) Y (CN). 351.

III.2.1. Las situaciones (AN). 355.
III.2.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (AN). 355.
III.2.1.2. Principales rasgos dinámicos de los direccionales del Noroeste bajo régimen anticiclónico. 361.

III.2.2. Las situaciones (CNW). 363.
III.2.2.1. El tipo de tiempo fisionómico (CNW). 363.
III.2.2.2. Principales rasgos dinámicos de los direccionales del Noroeste bajo régimen ciclónico. 373.

III.3. SUBDIRECCIONALES DEL NOROESTE CON DEPRESION PERIIBERICA POR LA REGION CANTABRO-BALEAR: (Cnw). 376

III.3.1. Las situaciones (Cnw). 378.
III.3.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (Cnw). 378.
III.3.1.2. Principales rasgos dinámicos de los Subdireccionales del Noroeste bajo régimen ciclónico. 386.

III.4. SUBDIRECCIONALES DEL NOROESTE CON ALTA PERIIBERICA FRENTE A LAS COSTAS GALAICO-PORTUGUESAS: (Anw). 389.

III.4.1. Las situaciones (Anw). 390.
III.4.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (Anw). 390.
III.4.1.2. Principales rasgos dinámicos de los Subdireccionales del Noroeste bajo régimen anticiclónico. 395.

III.5. DIRECCIONALES DEL NORESTE CON ADVECCION BOREAL CONTINENTAL: (ANE). Y DIRECCIONALES/SUBDIRECCIONALES DEL NORESDESTE CON ADVECCION EUROMEDITERRANEA: (CNE-Cne). 396.

III.5.1. Las situaciones (ANE). 399.
III.5.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (ANE). 400.
III.5.1.2. Principales rasgos dinámicos de los direccionales del Nordeste bajo régimen anticiclónico. 404.

III.5.2. Las situaciones (Cne). 406.
III.5.2.1. El tipo de tiempo fisionómico (Cne). 406.
III.5.2.2. Principales rasgos dinámicos de los Subdireccionales del Nordeste bajo régimen ciclónico. 413.

III.6. DIRECCIONALES ADVECTIVOS ASOCIADOS A PONIENTES.: (AW), (CW), (CWi). 414.

III.6.1. Las situaciones (AW). 418.
III.6.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (AW). 419.
III.6.1.2. Principales rasgos dinámicos de los direccionales del Oeste bajo régimen anticiclónico. 423.

III.6.2. Las situaciones (CW). 425.
III.6.2.1. El tipo de tiempo fisionómico (CW). 425.
III.6.2.2. Principales rasgos dinámicos de los direccionales del Oeste bajo régimen ciclónico. 433.

III.6.3. Las situaciones (CWi). 435.
III.6.3.1. El tipo de tiempo fisionómico (CWi). 435.
III.6.3.2. Principales rasgos dinámicos de los direccionales con advección del oeste intensificada bajo régimen ciclónico. 440.

III.7 SUBDIRECCIONALES DEL OESTE CON DORSAL ATLANTICA: (Aw). 441

III.7.1. Las situaciones (Aw). 443.
III.7.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (Aw). 443.
III.7.1.2. Principales rasgos dinámicos de los anticiclónicos subdireccionales del oeste (Aw). 448.

III.8. SUBDIRECCIONALES DEL ESTE CON DORSAL ATLANTICA: (Ae) Y (A'e). 450.

III.8.1. Las situaciones (Ae). 454.
III.8.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (Ae). 454.
III.8.1.2. Principales rasgos dinámicos de los subdireccionales del este bajo régimen anticiclónico. 461.

III.8.2. Las situaciones (A'e). 463.
III.8.2.1. El tipo de tiempo fisionómico (A'e). 463.
III.8.2.2. Principales rasgos dinámicos de los subdireccionales del este bajo régimen anticiclónico y talweg

norteafricano extendido hacia Andalucía. 468.

III.9. DIRECCIONALES DEL ESTE CON ADVECCION DESDE LA CUENCA MEDITERRANEA PROPICIADA POR UN ALTA CONTINENTAL (AE). 468.

III.9.1. Las situaciones (AE). 471.
III.9.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (AE). 471.
III.9.1.2. Principales rasgos dinámicos de los direccionales del Este bajo régimen anticiclónico. 477.

III.10. SUBDIRECCIONALES DEL ESTE ASOCIADOS A CELULAS DEPRESIONARIAS: (C'e) Y (Ce). 479.

III.10.1. Las situaciones (C'e). 482.
III.10.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (C'e). 482.
III.10.1.2. Principales rasgos dinámicos de los subdireccionales del este bajo régimen anticiclónico en superficie y gota fría en altura. 491.

III.10.2. Las situaciones (Ce). 493.
III.10.2.1. El tipo de tiempo fisionómico (Ce). 494.
III.10.2.2. Rasgos dinámicos de las situaciones subdireccionales del Este bajo régimen ciclónico asociadas a depresión fría. 503.

III.11. DIRECCIONALES DEL SUROESTE CON ADVECCION DESDE LA CUENCA DE CANARIAS: (ASW). 505.

III.11.1. Las situaciones (ASW). 506.
III.11.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (ASW). 506.
III.11.1.2. Rasgos dinámicos de los direccionales del suroeste bajo régimen anticiclónico. 513.

III.12. SUBDIRECCIONALES DEL SUROESTE CON VAGUADAS O DEPRESION PERIIBERICA POR LA REGION ATLANTICA DE GALICIA-CANARIAS: (Csw). 514.

III.12.1. Las situaciones (Csw). 517.
III.12.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (Csw). 517.
III.12.1.2. Principales rasgos dinámicos de los subdireccionales del suroeste bajo régimen ciclónico . 529.

III.13. DIRECCIONALES DEL SUR CON ADVECCION ABREGA LIGADA A UN ALTA EUROAFICANA: (AS). 531.

III.13.1. Las situaciones (AS). 533.
III.13.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (AS). 533.
III.13.1.2. Rasgos dinámicos de los direccionales del sur bajo régimen anticlónico. 541.

III.14. SUBDIRECCIONALES DEL SUR ASOCIADOS A UNA GOTA FRIA EN ALTURA (C's) Y (Cs). 543.

III.14.1. Las situaciones (C's). 546.

III.14.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (C's). 546.
III.14.1.2. Rasgos dinámicos de los subdireccionales del Sur bajo régimen ciclóncio asociados a gota fría en altura y altas presiones en superficie. 552.

III.14.2. Las situaciones (Cs). 553.
III.14.2.1. El tipo de tiempo fisionómcio (Cs). 553.
III.14.2.2. Rasgos dinámicos de los subdireccionales del Sur bajo régimen ciclónico asociados a depresión fría. 562.

III.15. ADIRECCIONALES LIGADOS A PEQUEÑOS NUCLEOS ANTICICLONICOS TERMICOS INTRAIBERICOS: MARITIMOS (Aam) Y CONTINENTALES (Aac). 563.

III.15.1. Las situaciones (Aam). 565.
III.15.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (Aam). 566.
III.15.1.2.Rasgos dinámicos de los adireccionales ligados a alta peninsular e influencia atlántica bajo régimen anticiclónico. 571.
III.15.3.2. Las situaciones (Aac). 572.
III.15.2.1. El tipo de tiempo fisionómico (Aac). 572.
III.15.2.2. Principales rasgos dinámicos de los adveccionales ligados a alta peninsular e influencia euroafricana bajo régimen anticiclónico. 576.

III.16. ADIRECCIONALES LIGADOS A DEPRESIONES TERMICAS INTRAIBERICAS: (A'b). 578.

III.16.1. Las situaciones (A'b). 580.
III.16.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (A'b). 580.
III.16.1.2. Principales rasgos dinámicos de los adireccionales ligados a baja térmica peninsular bajo régimen anticiclónico. 586.

III.17. ADIRECCIONALES LIGADOS A UNA DEPRESION INTRAIBERICA CON CONDICIONES CICLONICAS EN ALTURA: (C'b).587

III.17.1. Las situaciones (C'b). 589.
III.17.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (C'b). 589.
III.17.1.2. Principales rasgos dinámicos de los adireccionales ligados a depresión intraibérica bajo régimen ciclónico. 596.

III.18. ADIRECCIONALES LIGADOS A UNA DEPRESION MERIDIONAL POR EL GOLFO DE CADIZ-MAR DE ALBORAN: (Cm). 597.

III.18.1. Las situaciones (Cm). 599.
III.18.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (Cm). 599.
III.18.1.2. Principales rasgos dinàmicos de los tipos ciclónicos adireccionales ligados a una pequeña depresión móvil en el Golfo de Cádiz-Mar de Alboran. 607.

III.19. ADIRECCIONALES CON PANTANO Y/O AUSENCIA DE DIRECCIONALIDAD EN SUPERFICIE Y CON DEPRESIONES U ONDULA-

CIONES EN ALTURA. 609.

III.19.1. Las situaciones (C'p). 610.

III.19.1.1. El tipo de tiempo fisionómico (C'p). 610.
III.19.1.2. Principales rasgos dinámicos de los adireccionales bajo régimen ciclónico y pantano o ausencia de direccionalidad en superficie. 618.

I. P A R T E T E R C E R A : A N A L I S I S G L O B A L Y R E G I O N A L D E L C L I M A EN A N D A L U C I A . 621

I. LOS RASGOS MAS GENERALIZADOS DEL CLIMA EN ANDALUCIA. 625

I.1 PRINCIPALES RASGOS DE CARACTER ESTATICO. 625

I.2 PRINCIPALES RASGOS DE CARACTER DINAMICO Y SINTETICO MAS GENERALIZADOS A LA SUPERFICIE DE ANDALUCIA. 630

I.2.1. Bases para la definición fisionómica de los tipos de tiempo en Andalucía. 630

I.2.2. La caracterización fisionómica de los tipos de tiempo en Andalucía. 633

I.2.3. La evolución de los tipos de tiempo sobre Andalucía. 638
I.2.3.1. Las características estacionales a través de las contraposiciones ciclónico-anticiclónico. 638.
1.2.3.2. Las características estacionales a través de la consideración de los hechos dinámicos y geográficos. 644.

II. LOS RASGOS REGIONALES DEL CLIMA EN ANDALUCIA Y EL COMPORTAMIENTO INTEGRADO DE LOS TIPOS DE TIEMPO EN CADA REGION CLIMATICA. 655.

II.1. LAS TEMPERATURAS Y LAS REGIONAS TERMICAS DE ANDALUCIA. 659.

II.1.1. La distinción de espacios a partir de los valores absolutos de temperatura. 659.

II.1.2. La alta montaña. 659.

II.1.3. La montaña. 663.

II.1.4. Montañas bajas, llanuras de pie de montaña y el litoral. 666.
II.1.4.1. Altas depresiones intrabéticas orientales.

667.
II.1.4.2. Intrabético occidental y solana de las béticas. 669.
II.1.4.3. Depresión del Guadalquivir y su entorno próximo. 671.
II.1.4.4. El litoral. 677.

II.1.5. El análisis espacial a través de los valores relativos o de "eficiencia térmica relativa" de los tipos de tiempo en Andalucía. 682.
II.1.5.1. Las definiciones térmicas empleadas. 683.
II.1.5.2. Los mecanismos térmicos. Descripción del comportamiento térmico espacial de los tipos de tiempo sobre Andalucía. 685.
II.1.5.3. El litoral. El litoral atlántico, el litoral mediterranéo y el Estrecho. 691.
II.1.5.4. Las tierras bajas interiores. Las depresiones levantinas y el entorno de la depresión del Guadalquivir. 696.
II.1.5.5. El Surco Intrabético. El sector Central-Oriental y el sector Occidental-Solana Bética. 698.
II.1.5.6. La montaña y la alta montaña en el ámbito atlántico y mediterraéno. 699.
II.1.5.7. Otras precisiones sobre la eficiencia térmica relativa de los tipos de tiempo en la alta montaña. 700.

II.1.6. Esquema de las regiones térmicas de Andalucía a partir de los valores absolutos y de la eficiencia térmica relativa de los tipos de tiempo. 702.

II.2. LAS PRECIPITACIONES Y LAS REGIONES PLUVIOMETRICAS DE ANDALUCIA. 703.

II.2.1. Los mecanismos pluviométricos. Descripción comportamiento pluviométrico-espacial de los tipos de tiempo sobre Andalucía. 706.

II.2.2. La región pluviométrica de los suroestes o abregos. 711.
II.2.2.1. Tierras bajas de la depresión del Guadalquivir y Sector Central de S.Morena. 713.
II.2.2.2. S.Morena Occidental- Norte Onubense. 715.
II.2.2.3. El litoral atlántico.718.
II.2.2.4. Escarpes montañosos occidentales erguidos entre la Cuenca Sur y la Cuenca del Guadalquivir. 721.
II.2.2.5. Valles Medios y Medios-Altos de la Cuenca Sur Malagueña y Granadina. 723.
II.2.2.6. Litoral mediterráneo desde el Estrecho hasta el sector mediterraéno. 727.
II.2.2.7. La cuenca media del Genil y la depresión del Guadalquivir en su tramo alto. 732.

II.2.3. La región pluviométrica de los ponientes o de

los mecanismos atlánticos. 735.
II.2.3.1. Sectores del espolón occidental de las Béticas. La S. de Grazalema. 736.
II.2.3.2. Sectores interiores montañosos de la Cuenca del Guadalquivir. 742.
II.2.3.3. Sectores de transición de los Ponientes. 747.

II.2.4. La región pluviométrica de los mediterraéneos autóctonos. 750.
II.2.4.1. Zonas de transición de los mediterranéos-autóctonos. 754.
II.2.4.2. La Bahia Almeriense. 757.
II.2.4.3. Los pasillos y el litoral levantinos. 761.
II.2.4.4. Zonas Septentrionales e interior montañoso almeriense. 764.
II.2.4.5. El Surco Intrabético-Oriental. 768.

II.2.5. Esquema de las regiones pluviométricas de Andalucía a partir de la eficiencia pluviométrica de los tipos de tiempo y de los valores absolutos de precipitación global. 761.

II.3. LAS MODIFICACIONES CLIMATICAS EN EL ESPACIO ANDALUZ. 774.

II.3.1. Las tierras de la Depresión del Guadalquivir y sus proximidades. 776.

II.3.2. La costa atlántica del Golfo de Cádiz y las modificaciones de tipo oceánico. 787.

II.3.3. La montaña y la alta montaña atlántica y las modificaciones de tipo orográfico. 793.

II.3.4. El Surco Intrabético Oriental o Atlántico y las modificaciones de tipo continental. 801.

II.3.5. La Andalucía Mediterránea de Levante y Alborán y el tipo de modificaciones geográficas y genéticas. 806.

II.3.5.1. Modificaciones climáticas más generalizadas en la Andalucía Mediterránea. 808.
II.3.5.2. Las regiones de Alborán. 813.
II.3.5.2.1. El litoral de Alborán y su entorno próximo. 814.
II.3.5.2.2. El interior de las Cuencas Hidrográficas de Alboran 826.
II.3.5.2.3. La montaña de las Cuencas Hidrográficas de Alborán. 832.
II.3.5.3. Las regiones mediterráneas levantinas. 839.
II.3.5.3.1. La montaña levantina de la Cuenca Sur. 839.
II.3.5.3.2. Los pasillos o depresiones interiores levantinas.844.

II.3.5.3.3. El litoral levantino. 847.

C O N C L U S I O N E S

B I B L I O G R A F I A

A P E N D I C E  E S T A D I S T I C O

# INTRODUCCION

## INTRODUCCION

Es el propósito del presente estudio realizar una aproximación geográfica a Andalucía a partir de su realidad climática general y de la diversidad regional de su interior. En las perspectivas del análisis geográfico regional y del análisis climático, el tema que abordamos precisa, a nuestro modo de ver, una línea trazada en tres partes distintas entre sí pero necesarias las unas a las otras.

La primera parte la dedicamos al proceso histórico del desarrollo y de la conceptualización del tiempo atmosférico, del clima y de las Climatologías en el contexto de la historia de la Ciencia: esta base nos habrá de permitir una recapitulación posterior sobre la valoración de los aspectos metodológicos de cada una de las formas de la elaboración climatológica. La importancia de esta primera parte para establecer las hipótesis del estudio del clima de Andalucía es capital por cuanto sustenta la elección de las fuentes y la justificación de un método de trabajo que permita abordar descriptiva y explicativamente el análisis climático global y regional de una superficie, la andaluza, complicada por la orografía accidentada y sometida a situaciones muy variables y diversas de un día a otro. Por este motivo hemos creído interesante dedicar a continuación, antes de nada, unas reflexiones a estos aspectos.

La segunda parte se ocupa del análisis precisamente de este último que es una de las realidades de mayor interés para el estudio de nuestro clima: la existencia de situaciones atmosféricas muy diversas pero agrupables, atendiendo a determinados rasgos, en tipos de tiempo sinópticos asociados a tipos de tiempo fisionómicos concretos (el tiempo vivido). La clasificación de los tipos de tiempo se lleva a cabo sin perder de vista un hecho previo e imprescindible en la comprensión del catálogo de los modelos sinópticos: los factores geográficos del clima de Andalucía cuyo conocimiento, aparte de otros hechos, la descripción de los elementos básicos de nuestra circulación regional (masas de aire, centros de presión o individuos barométricos típicos de nuestro entorno, etc...). Tras la clasificación nos ocuparemos de la descripción de los rasgos sinópticos y fisionómicos, así como frecuenciales, de cada tipo de tiempo.

La tercera y última parte es la culminación o síntesis de nuestra investigación sobre el espacio andaluz a partir de esas estructuras básicas y elementales para el estudio descriptivo y explicativo del clima: los tipos de tiempo. Entonces trataremos de plasmar para el espacio andaluz los rasgos climáticos más generalizados a su superficie teniendo muy en cuenta el característico

ritmo del tiempo que impone la dinámica atmosférica y, por otro lado, las diversidades climáticas regionales impuestas por la variopinta topografía que han de jugar un papel determinante en la propia realidad no solo física sino incluso humana y económica del país andaluz.

Por último realizaremos unas conclusiones sobre algunos de los rasgos más generales del clima de la superficie andaluza y sobre el método de trabajo que ha sido empleado en el presente trabajo.

Así planteado, el tema se debe constituir sobre una gran cantidad de contenidos en los diferentes niveles de la investigación obtenidos de una información de base muy detallada y prolija pues el punto de partida sobre el que pensamos argumentar y desarrollar nuestro estudio es el análisis diario, no el dato medio mensual. Somos conscientes de la complejidad y la aspereza de este planteamiento del tema aunque a nadie escapa que es en la consideración compleja de la realidad climática donde radica el propio interés del análisis geográfico. Procuraremos suavizar en la medida de lo posible la ineludible dureza de las descripciones y explicaciones del clima y del análisis climático regional de Andalucía realizando tablas y especialmente figuras esquemáticas, así como utilizando un sistema sencillo de abreviaciones de conceptos o de definiciones que no se pueden reiterar una y otra vez en la redacción pues la complicarían demasiado: a este propósito advertimos ahora de la existencia de un cuadro de abreviaturas separado del texto que puede facilitar la familiarización con su significado en el momento de la lectura del capítulo correspondiente.

# PARTE PRIMERA:

## PAUTAS PARA EL NACIMIENTO Y DESARROLLO DE LA CLIMATOLOGIA: EL PROCESO DE APROXIMACION DEL CLIMA. CONCEPTO ABSTRACTO. AL TIEMPO ATMOSFERICO. HECHO REAL.

La interfase Tierra-Atmósfera se configura como un complejo dinámico, compuesto por las interacciones dialécticas entre sus distintos elementos constituyentes, los cuales están dotados, a su vez, de una dinámica propia. Esto es una realidad incontestable de la que es preciso partir y aceptamos. Una tal concepción del contacto entre la litosfera y la atmósfera, del espacio donde prospera la vida (la vida orgánica, la vida orgánica superior o antrópica y también la "vida mortológica" o evolución de las formas en base al grado de estabilidad o inestabilidad de los medios naturales), permite a TRICART y KILIAN (1982) llegar a su "sistema natural", inspirado probablemente en las concepciones de CHOLLEY: orgánico en el pasado, el estudio de la interdependencia existente entre los distintos elementos del medio fué, sin embargo, abordado anteriormente, en los mismos albores de la Geografía: "...La noción de estudios integrados no es nueva. Surge del pensamiento de los fundadores de la Geografía moderna, de los HUMBOLDT, RITTER, VIDAL DE LA BLACHE, y de los grandes naturalistas y viajeros del último siglo, de DARWIN, RICHTOFFEN, DOCOUTCHAEV, PASSARGE..." (TRICART.J. 1981 p.81).

Integración, interacción, dinamismo: es la realidad a la que está sometida la interfase Tierra-Atmósfera y la característica más relevante que se desprende de su observación.

Uno de los motores que imprimen mayor vitalidad, en conjunto, a la superficie terrestre es el tiempo atmosférico en evolución. "...La corteza terrestre -dice MILLER- está desgastada, resquebrajada y castigada por los fenómenos meteorológicos: sol, viento, hielos y lluvias de millones de años (...) la piel de la tierra cambia y se renueva constantemente, y como la piel y los pulmones de un animal, incorpora aire y humedad, los utiliza o deshecha y los expulsa de nuevo. Está atemperada por el fuego del sol, enfriada por los vientos que soplan sobre su superficie, y hace uso de sus reservas de calor interno almacenado en su piel y debajo de ella..." (MILLER.A.A. 1970 p.115).

Pero el tiempo atmosférico resulta un hecho tan importante, tan vital, como complicado y difícil de conocer en su integridad. Si constituye un motor de la epidermis del Planeta es porque no se trata de un fenómeno estático, por el contrario, el tiempo atmosférico se alía en su existencia a la mutabilidad incesante e infinitamente variada tanto en el aspecto cronológico como en el espacial: en esta característica esencial radica el interés pero también la dificultad de su estudio.

Decimos "interés" porque, efectivamente, un tiempo atmosférico ideal, único e invariable, difícilmente imprimiría a la epidermis de nuestro Planeta el dinamismo

que, por cocuier, manifiesta. Pero, si la influencia que ejerce sobre la interfase Tierra-Atmósfera resulta importante, es así gracias, no sólo a que el tiempo atmosférico en ningún caso es un fenómeno estático sino, además, porque su desenvolvimiento diario ó anual tampoco queda desprovisto de ciertos rasgos particularmente semejantes (a pesar de no ser perfectamente idénticos).

Como recientemente ha escrito LINES ESCARADO, retomando esta idea ya antigua, "...Lo que llamamos tiempo atmosférico es esencialmente cambiante: hay algo que se repite y que es nuevo a la vez. La atmósfera globalmente considerada, no llega a presentar estados idénticos, o dicho con otras palabras, podemos tener bastante seguridad de que no se dan dos situaciones meteorológicas exactamente iguales, porque ello equivaldría a la aparición de periodicidades de las que no hay evidencia. (...) Por otra parte, en la evolución del tiempo atmosférico, frecuentemente se encuentran ciertas analogías. Los cursos diarios de las temperaturas, la sucesión de las estaciones, la repartición en épocas del calendario de períodos secos y húmedos, la presencia de tormentas en determinados meses y otros tantos hechos, nos prueban que los fenómenos atmosféricos se repiten continuamente ofreciendo por un lado, notables analogías, y por otro nuevas facetas en cada ocasión... (LINES,A. 1982 p.2).

Precisamente es este hecho, las analogías, lo que trasciende a la existencia (almenos tal y como se manifiesta en la superficie de la Tierra) de la movilidad y del dinamismo mostrado por los elementos vivientes e inertes de la interfase.

Pensemos solamente en que, por ejemplo, la Fenología (es decir, el estudio de las relaciones que existen entre las condiciones atmosféricas y los fenómenos periódicos de la vida natural, tales como o la migración de ciertas aves, las fases de vegetación de una planta, etc...) dejaría de tener sentido en estas condiciones supuestas de un tiempo atmosférico absolutamente arrítmico: los brotes de las hojas, la floración, la caída de la hoja... no se repiten cada año en días fijos, sino que vienen influenciados por los agentes extraños, fundamentalmente atmosféricos, y cuando estos agentes no llegan tal o cual año entonces sobreviene el deterioro o la muerte.

En general, podemos decir lo mismo para cualquier fenómeno que, como la Fenología, manifieste en la superficie de la Tierra una conexión directa o indirecta en su existencia con la evolución del tiempo atmosférico y sus más o menos imperfectos ciclos diarios o anuales.

Ahora bien ¿Qué hechos de la superficie de la Tierra escapan totalmente a los lazos con la evolución del tiempo atmosférico? La contestación a esta cuestión evi-

cencia el carácter trascendental con que están investidos los fenómenos atmosféricos cuando los consideramos en el contexto del estudio integral del medio físico. El sistema natural se organiza entre dos polos principales: litosfera y atmósfera: la superficie de contacto entre ambos refleja el equilibrio de las fuerzas que cada uno desencadena. Por tanto el tiempo atmosférico en evolución no sólo es un elemento que está integrado en el contexto natural sino, además, es un elemento determinante del mismo, jugando, como dice JANSA, un papel primario (JANSA.J.M. 1989 p.10).

En suma, el tiempo atmosférico es un factor importante para el resto de los procesos naturales que se observan en la superficie de la Tierra (pedogenéticos, biológicos, geomorfológicos... y ecológicos en general) y esto es así porque de ningún modo está aislado ó separado de ellos, y porque jamás se manifiesta estático ni desprovisto de cierta periodicidad. El tiempo atmosférico plantea, por tanto, un cierto grado de lógica en su constitución espacio-temporal la cual trasciende a la distribución y evolución de ciertos procesos de la epidermis del Planeta. Aprehender el tiempo atmosférico es un intento de sumo interés en si mismo pero, además, es crucial para el entendimiento, al menos parcial, de los procesos naturales en general, con los que mantiene estrechos vínculos.

Hemos dicho que el tiempo atmosférico en evolución manifiesta, **desde el punto de vista cronológico**, ciertos "ritmos" que en ningún caso son exactos. Por lo general suele hablarse de ritmo diario y anual que son los más próximos al ciclo perfecto, sin duda por la decisiva influencia de la actividad solar sobre el Planeta. No obstante podemos aludir también a ritmos de mayor amplitud y menos regulares, tales son los geológicos, los históricos y los interanuales.

**Desde el punto de vista espacial**, el tiempo atmosférico en un momento dado también manifiesta modificaciones progresivas que se pueden matizar cada vez más conforme descendemos de escala, diferenciándose de este modo zonas desde millones de Km2 a las de tan sólo algunos m2.En determinados casos las modificaciones a una determinada escala son semejantes a las mostradas por los estados atmosféricos ocurridos en otros momentos para esa misma escala.

Precisamente este tipo de variaciones del tiempo atmosférico, tán importantes para los fenómenos observados en el medio natural por estar provistas de cierta regularidad en el aspecto cronológico y espacial, son las que, simultáneamente, hacen posible e interesante su estudio (*).

Ahora bien, llevar a cabo el examen del tiempo atmosférico así entendido entraña profundas dificultades a causa de las cuales resulta ineludible realizar un proceso más o menos profundo de abstracción que permita deducir las analogías de su desenvolvimiento: aquí es donde entroncamos con el concepto de lo que denominamos clima. Obviamente, los conceptos de clima y de tiempo atmosférico mantienen estrechos vínculos: para ser más exactos, el tiempo atmosférico, con sus ritmos, trae aparejado el hecho climático. Aquél constituye una realidad fugaz y el clima, tal y como hemos llegado a concebirlo, resulta del intento de captar el conjunto de esas realidades efímeras y transitorias aprovechando las analogías más o menos atisbadas que manifiesta su evolución espacio-temporal, lo que PEDELABORDE ha denominado "tendencias" y "estados duraderos" (PEDELABORDE,P. 1970 p.8).

Este planteamiento del clima en función de los fenómenos del tiempo aunque, por el extendido uso que ha conocido en la actualidad, nos parezca tan antiguo como el propio término "clima", sin embargo, no llegó a constituirse hasta épocas insospechadamente recientes, tanto que permiten considerar a la Climatología como una disciplina extrictamente Contemporánea. Se trata de un significado nuevo: no es una herencia de la Antigüedad, como el propio término: baste, para comprobar esto, una simple consulta al diccionario de latín o de griego antiguo: "klima" (clima) no presenta en caso alguno esta acepción ni ninguna siquiera parecida. Además es evidente que, para constituir el clima la forma de aproximación abstracta a los hechos reales representados en el tiempo atmosférico, ha sido necesaria, como es lógico, la previa concepción del tiempo atmosférico y aún antes, de la atmósfera, así como la comprensión y el reconocimiento de la condición accidental de sus estados y características: pero esto se alcanza sólo en el contexto de la Nueva Ciencia.

Por tanto, estos planteamientos del clima en íntima conexión con el tiempo atmosférico, tienen una inequívoca dimensión histórica (han necesitado ser desarrollados, a partir de los avances dados en determinados campos del conocimiento, por contextos concretos de la historia de la Ciencia) cuya importancia hace preciso conocerla: como expresara en 1901 F.RATZEL, la Geografía no se aprende

---

(*) Por el mismo motivo que un tiempo atmosférico completamente "arítmico" dejaría de tener sentido para la vitalidad de la epidermis del Planeta, también carecerían entonces de lógica los análisis sobre su evolución y no sólo porque dejaría de detentar el papel que, en realidad, juega sobre el medio natural sino, además, porque, en ese caso, la evolución no sería tal sino una simple sucesión, cosa muy distinta.

sin conocer su historia, es una particularidad de esta ciencia, lo que para otras ciencias es útil, es indispensable en la Geografía (Ver Die Erde und das Leben.1901 p.3): sin duda estas palabras pueden aplicarse, de forma particular, a la Climatología. La dimensión histórica nos evidencia el contexto de donde parte la Climatología: este contexto, al mismo tiempo que presta sus "utiles" de trabajo a la Climatología, influencia con inconfundibles y fundamentales características el desarrollo de sus contenidos: es decir, influencia el desarrollo de las elaboraciones climatológicas concretas.

El análisis de esto que hemos llamado "**dimensión histórica**" nos debe revelar en definitva la modernidad de las raices de los planteamientos climatológicos y, asi mismo, la inequivoca naturaleza científica, física y atmosférica de los mismos: en una buena parte, el desarrollo del concepto de clima ha consistido en la aproximación científica cada vez mas integra al tiempo y, por consiguiente, a los fenómenos físicos propiamente atmosféricos.

Por otro lado, si sospechamos que es preciso plantear la evolución del concepto de clima para desentrañar los contenidos mas profundos y esenciales que encierra su concepción, pensamos que resultaria conveniente examinar también la evolución del conocimiento de la atmósfera y del tiempo atmosférico: igual que el clima, los fenómenos aerológicos y los meteoros no pudieron ser entendidos ni explicados como fenómenos atmosféricos hasta que se llegó a la concepción y comprensión de la atmósfera; por esto, el planteamiento de los fenómenos aerológicos y de los meteoros como fenómenos atmosféricos posee sin duda también una dimensión histórica particular que, simultáneamente, es fundamental para la evolución del planteamiento del clima en conexión con el tiempo atmosférico.

No cabe duda de que, a pesar de ser antiguos los términos "klima" y "meteoros", los significados que poseen en la actualidad son concepciones relativamente recientes que se han ido formulando y consolidando sólo a partir del S.XVI o después, en el contexto de la Nueva Ciencia.

Dedicaremos por tanto un apartado al proceso de aproximación del clima, concepto abstracto, al tiempo atmosférico, hecho real. Esta aproximación constituye la pauta para el nacimiento y desarrollo de la Climatología, analizada, consiguientemente, siguiendo la evolución del significado de los términos "clima" y "meteoro" en conexión con la historia general de la Ciencia o, mejor, con ciertos aspectos relevantes de la misma.

La evolución del significado de los términos "klima"

y "meteoros" manifiesta, a nuestro modo de ver, tres grandes etapas:

1) Una primera centrada en la Antigüedad y prolongada hacia la Edad Media durante la cual el orden de realidades a las que hacían referencia los étimos de clima y meteoros mantenía pocas vinculaciones, marcadas diferencias de uno respecto a otro, mostrándose ambos a espaldas en su significación de la envoltura gaseosa planetaria, la atmósfera, que era por entonces desconocida como tal.

2) Una segunda etapa se constituye aproximadamente a partir de los comienzos de la Edad Contemporánea quedando enmarcada por la aparición de significados para los términos clima y meteoro próximos entre sí y sustancialmente nuevos: estos significados emanaron fundamentalmente de la determinación de la atmósfera hallada como una realidad física y dinámica: física, pues será definida y explicada a partir de unas leyes físicas generales, y dinámica porque manifestaba una constante y compleja evolución plasmada en las variaciones del tiempo atmosférico inevitablemente entendidas a partir de ahora como variaciones del estado de la atmósfera o variaciones del estado físico de la atmósfera: como veremos, los significados del término clima y de los términos meteoro y Meteorología quedarán ahora referidos a unas realidades muy próximas entre sí, constituyendo el tiempo atmosférico y la atmósfera el nexo que, por un lado, les une y, por otro lado, les renueva naciendo de ambas realidades realidades físicas y de su estudio un estudio "científico". Por ello dedicaremos en su momento especial atención a las concepciones modernas no sólo del clima sino, además, del tiempo atmosférico y de la atmósfera.

3) Entre ambas etapas, se prolonga un período de transición correspondiente, de manera aproximada, a la Edad Moderna: durante ella se desarrolla la Nueva Ciencia y se desarrollan también los medios que habrían de hacer posible la correcta formulación de la atmósfera y del tiempo atmosférico como realidades físicas y dinámicas. Dichos medios constituyeron unos "útiles" de trabajo de indudable valor y trascendencia. Por ello también les dedicaremos en su momento nuestra atención.

A continuación del análisis de estas tres etapas, donde desentrañamos las pautas para el nacimiento y desarrollo de la Climatología, abordamos el análisis de la Climatología misma, de sus orientaciones y métodos, en un apartado ulterior.

# I. CONCEPTO DE "METEOROS", CONCEPTO DE "CLIMA" Y CONSIDERACION DE LOS HECHOS CLIMATICOS EN LA ANTIGUEDAD

## I.1. EL CONCEPTO DE METEOROS

Se puede reconocer en el pensamiento griego el germen del mismo pensamiento científico. A él se debe la primera división del medio en partes: tierra, fuego, agua y aire, elementos que explicaban todo el mundo físico: el último de los cuatro, el aire, fue concebido como sustancia material a partir de EMPEDOCLES, quién demostró por primera vez, empírica y concluyentemente, que el "aire invisible" es una sustancia corpórea. Esto es un punto de partida, pero hace más, aún era muy largo el camino por recorrer. Veámoslo.

El pensamiento griego llegó a concebir y dar nombre a un ámbito situado sobre la Tierra, levantado del suelo, elevado en el aire: era el "**metéoros**" término que resulta de "metá" (cambio) y "aíro" o "aeiro" (elevar). El tratado de este ámbito era la "Meteorología" y constituía un objeto de especulaciones filosóficas, aunque no quedaba referido al aire en sí mismo sino a algo más general, la constitución de las sustancias naturales; por otro lado, hacía alusión tanto a aquello que se alzaba unos metros tan sólo del suelo como a los "metéora", es decir, los fenómenos celestes (VERNANT,J.P. 1973 p.233); ya que para los filósofos naturales de Mileto, todo el cielo era en esencia una exhalación o evaporación de la Tierra de tal modo que su Astronomía difícilmente era discernible de la Meteorología (FARRINGTON,B 1957 p.107).

Así concebido, el tratado de aquello "**elevado sobre tierra, en el aire**" incluía necesariamente a una mezcla, por cierto bastante confusa, de observaciones astronómicas, físicas y algunos prejuicios de raigambre popular plasmados en dichos o pronósticos vulgares asemejables a nuestras "cabañuelas" o refranes.

Aunque se ha querido señalar a ARISTOTELES como el primer meteorólogo, pues él se atribuye la obra "Meteorología" donde, aparte de recoger ciertos pronósticos populares, señaló la formación del rocío por enfriamiento, la sucesión de los vientos, etc.... no obstante, hemos de ser conscientes que, aún, no estaba delimitado el campo de estudio que le es propio a la actual Meteorología, cáncele sentido: la **atmósfera terrestre.**

El mismo ARISTOTELES sólo pudo, en este sentido, diferenciar la esfera sublunar de las regiones superiores: en la primera se incardinaban los cuatro elementos superpuestos (fuego, aire, agua y tierra), añadiendo un quinto, la quintaesencia, el éter, para las regiones superiores (BERNAL,J.D. 1967 p.168). Respecto a los anti-

quos filósofos de Mileto, antes aludidos. ARISTÓTELES lleva a cabo con esta distinción una decisiva aportación: pero dicha aportación, quede claro, no consiste en la definición de la atmósfera terrestre como un cuerpo aerológico, por el contrario lo que pretende es la definición del espacio etéreo. ARISTÓTELES llega a distinguir el ámbito sublunar del supralunar en base a los movimientos que manifiestan los elementos naturales: los desplazamientos de los terrestres eran verticales (ascendente el aire y el fuego, descendente la tierra y el agua), los desplazamientos de los cuerpos celestes eran circulares y continuos, lo cual significaba para el pensador que allí existe un elemento distinto a los otros cuatro, el éter (LLOYD, 1974 p.129-132).

Por tanto ARISTÓTELES no refiere explícitamente sus reflexiones al aire, sino a la constitución de las sustancias naturales en general y los procesos físicos que estas experimentan: claro está que especifica ciertos procesos aerológicos pero también en su "Meteorología" dá cabida, por ejemplo, a los minerales, porque tanto el aire como la tierra, así como el agua y el fuego son elementos naturales.

Definir, por su obra, a ARISTÓTELES como un meteorólogo en el sentido moderno del término, es una afirmación tan parcial como equivocada y gratuita. Los aspectos tratados por él sobre las particularidades del aire forman parte de un plan general del que no se pueden aislar: a su vez este plan general se circunscribe en un contexto filosófico preocupado fundamentalmente por la concepción de la constitución de las sustancias del Medio Físico, de la Naturaleza. El tratamiento del aire y de los meteoros en general no era el fin de las reflexiones, sólo formaba parte de la especulación filosófica sobre los elementos constituyentes de la materia, cuestión que casi todos los pensadores griegos abordaron, de tal modo que es, junto a la Astronomía (concepción del Universo), una de las grandes llaves del pensamiento griego.

Si acudimos a otra personalidad digna de mención de aquella época en relación a estos temas, LUCRECIO, nos volvemos a encontrar con que, sus alusiones a ciertos fenómenos que en nuestra época han querido ser conceptuados como precedentes de una moderna Meteorología, forman parte de una obra general" de rerum naturam" donde se propone los siguientes objetivos como finalidad:"porque serán materia de mi canto la mansión celestial, sus moradores: de qué principios la naturaleza forma todos los seres, cómo crecen, cómo los alimenta y los deshace después de haber perdido su existencia: los elementos que en mi obra llamo la materia y los cuerpos genitales y las simillas, los primeros cuerpos porque todas las cosas nacen de ellas"(Libro I, 70-80). "...:tengo que explicarte los diversos fenómenos del cielo cantaremos también

las tempestades y las causas y efectos de los rayos (..) pués todos son efectos naturales, que atribuyen los hombres a los dioses porque no pueden penetrar las causas" (Libro III.116-135).

Bajo estos objetivos LUCRECIO habla de diversas manifestaciones naturales que tienen lugar en el medio físico tratando de evidenciar y justificar su consistencia lógica para alejar cualquier prejuicio supersticioso en la explicación de las mismas. Junto a fenómenos tales como los temblores de tierra, las erupciones del Etna, las crecidas del Nilo, el imán, enfermedades y epidemias, etc... éste discípulo de EPICURO nos habla del trueno y sus causas, del relámpago, del rayo, trombas, nubes, lluvia, viento, nieve, granizo, escarcha, etc...No aborda fenómenos meteorológicos sino fenómenos naturales en general que explica de forma inconexa con el fin de abocar al conocimiento de los mismos, es decir al conocimiento filosófico de la Naturaleza. Así, cuando LUCRECIO habla de la virulencia de ciertos meteoros en las estaciones intermedias del año, Primavera y Otoño, le basta a sus pretensiones (justificar estos fenómenos por causas naturales y no divinas) con aludir al enfrentamiento de la personalidad totalmente contrapuesta del Invierno y el Estío: reproducimos una cita breve pero muy significativa: "...En estaciones medias, pues, conviven todas las varias causas de los rayos: vienen a ser los límites comunes do el frío y el calor se estan tocando agentes necesarios de los rayos, que entrambos introducen la discordia en la naturaleza, y con gran ruido el fuego encienden las tempestades y enfurecen el aire con los vientos: porque el fin del Invierno y el principio de Estío son los que hacen el Verano (=Primavera) por lo cual deben el calor y el frío, principios entre sí encontrados, luchar y revolver todas las cosas: el Otoño, que forma la salida del Estío y la entrada del Invierno, debe observar las riñas y pendencias del frío y del calor: guerras del año pueden llamarse entrambas estaciones: no es extraño que se hagan muchos rayos entonces, y que el cielo se alborote con tempestades, porque la discordia está continuamente fomentada con llamas, con vientos y con nublos..." (Libro VI, p.532-555).

A pesar de las dotes de observación, del ingenio y de la agudeza que traslucen estas palabras, o la misma intuición de las aportaciones aristotélicas en general, es necesario admitir la falta de un respaldo científico, la carencia de un proyecto claro destinado al estudio del medio aerológico. La idea de la Atmósfera como una masa aérea solidaria y el conocimiento de su funcionamiento estaba aún por concebir: para ello fué necesario que se convirtiera la envoltura gaseosa de nuestro planeta en un propósito de estudio en sí mismo, aislado de cualquier otro fín superior. Como dice PETTERSSEN (1976 p.19) "...Bajo el influjo avasallador de Aristotéles la meteo-

rología y la ciencia en general permanecieron a nivel especulativo (...) todavía a finales del S.XVIII la Meteorología se identificaba por muchos como la ciencia en conjunto. La Atmósfera era el laboratorio natural y los que trabajaban en él no pertenecían a ninguna disciplina en particular...".

La Meteorología se convertirá en una disciplina científica cuando se encontrasen los instrumentos meteorológicos de medición apropiados, cuando se generalizasen las observaciones y los experimentos, cuando fuesen mensurables las principales variables físicas del aire natural y, sobre todo, en el momento en que se alcanzase el conocimiento de la Atmósfera como sistema físico unitario tridimensional con unos límites concretos y un funcionamiento propio. Todo este cúmulo de trabajo árduo es el que permite que la Meteorología Antigua (con un campo de estudio poco definido, amplio) dé paso a una disciplina moderna cuyo objetivo es más restringido pero, sin embargo, mejor definido: la Atmósfera: como han dicho McINTOSH y THOM (1983 p.1) la Meteorología actual es una rama de la ciencia física cuyo laboratorio de experimentación es la Atmósfera.

Es precisamente el conocimiento de la existencia de la Atmósfera, tal cual hemos anteicho, el que interviene en el cambio de significado del antiguo término Meteorología reservado a lo que estaba "elevado en el aire por encima del suelo" y el que le dá una nueva orientación a esta moderna disciplina por cuyo objeto acaso sería más propio denominarla Atmosferología.

I.2. EL "KLINEIN" Y EL "KLIMA"

El conocimiento Antiguo contemplaba "por encima de la superficie del suelo" otro orden de observaciones y de hechos, los fenómenos celestes, en relación a los cuales está el otro término que nos interesa **:el Klima.**

Los fenómenos celestes serían abordados a través de la Astronomía, actividad científica cuya importancia se reveló tempranamente pués, a partir de cierto momento de nuestra historia, tuvo una utilidad práctica que la llevó a constituir una de las ramas del saber más y mejor desarrolladas:

En primer lugar, con el advenimiento de las sociedades de economía agrícola se hizo preciso el conocimiento de ciertas fechas que iban a quedar plasmadas en la confección de Calendarios Solares a cuya elaboración contribuyeron las ciudadas y prolongadas observaciones del sol y las estrellas. La cuestión de la identificación entre el contenido de estos Calendarios y la elaboración climatológica la posponemos para un próximo apartado dedicado a la consideración de los hechos climáticos en



la Antigüedad. De momento solo nos interesa valorar históricamente el aspecto astronómico de estas elaboraciones que suponen la comprensión del movimiento regular de los cuerpos celestes. Este movimiento parecía afectar a la Naturaleza dando lugar a la sucesión de las estaciones en el año. Ciertos fenómenos presentaban una estacionalidad, una evolución temporal regular a lo largo del período anual y en un punto dado: el Nilo para los Egipcios, el Altiplano mexicano para los Aztecas, el Eufrates para los Babilonios, etc... Sin embargo, como dice BERNAL (1967 p.109-110) **"...La práctica de las observaciones realizadas en los templos de todas las civilizaciones antiguas, incluyendo las de América, fue mucho más lejos de las necesidades del calendario. El sol, como regulador del año y portador de cosechas llegó a ser adorado como dios...".**

Pasamos al contexto griego y la cuestión deja de tener un sentido mitológico para dar paso a la razón, es la evolución clásica del "mythos" al "logos", con ello la Astronomía adelanta considerablemente y cambia de lo puntual o particular a lo general. Las consideraciones Astronómicas ahora no van a tener una aplicación local sino planetaria perdiendo simultáneamente su investidura sacra, reservada a los sacerdotes (la cual hizo derivar hacia la Astrología), para adoptar un carácter filosófico.

Como dice FARRINGTON, con el pensamiento griego las estrellas dejan de ser dioses y el movimiento de los cuerpos celestes se reduce a un orden consiguiendose de este modo una tremenda ampliación del dominio de la ciencia, una revolución de sus perspectivas: **"...la ciencia había conseguido un punto de partida inédito..."** (FARRINGTON.B. 1971 p.34). Se pasa pués de la Astronomía de los Calendarios a la Astronomía física, de la Astronomía mágica y práctica (donde lo que más interesan son los resultados de las observaciones, ciertas fechas) a la elaboración teórica de la Astronomía que ahora inicia sus pasos en Grecia, asociada a las concepciones del mundo y del universo, para llegar con este enfoque hasta la actualidad jalonada en su evolución por personalidades como ANAXIMANDRO, EUDOXO, ARISTARCO, HIPARCO, PTOLOMEO, COPERNICO, GALILEO, etc.

Las nuevas perspectivas abocan a la consideración de que nuestro planeta es un elemento perteneciente a ese orden astronómico y como tal va a comenzar su conocimiento. La Tierra se verá desembarazada de la necesidad de tener un soporte para quedar en su sitio suspendida en el espacio (ANAXIMANDRO 610-546 a.c) y pronto será concebida como una esfera (TALES DE MILETO, PITAGORAS, ARISTOTELES y seguidores); más tarde, esta concepción llegará a demostrarse, incluso esa esfera va a ser medida (ERATOSTENES) y cuadriculada por líneas, los meridianos y los

paralelos, que permitirán una base adecuada para su representación cartográfica (ERATOSTENES, HIPARCO, MARINO DE TIRO, PTOLOMEO, etc...).

Este cúmulo de fecundas ideas desarrolladas todas en las nuevas consideraciones astronómicas, al que hemos hecho una suscinta referencia y tal vez por ello una injusta valoración, nos sirve de marco para introducir nuestro tema: **el étimo del término clima** (klima).

La concepción del klima en la Grecia Antigua debe ser entendida precisamente en ese contexto de las "nuevas consideraciones astronómicas". La Astronomía griega lo crea y le da sentido: klima, en un principio, no es otra cosa que inclinación, probablemente la inclinación o declive que la Tierra, por su condición esférica, presenta desde el Ecuador hacia el Polo; aunque pudo también hacer referencia a la inclinación del eje terrestre respecto al plano de la eclíptica.

La evolución del significado del término klima en el mismo contexto de la Grecia Antigua condujo, sin embargo, a un sentido concreto con mayor precisión en la actualidad y definitivamente entroncado con el concepto de latitud o, mejor, de zona latitudinal: de tal modo, el klima haría referencia a una región de la esfera terrestre (geométrica) comprendida entre dos paralelos, representando consiguientemente una región inferida por criterios teóricos, abstractos, cuyos límites no respondían a ninguna realidad concreta. De esta forma se llegaron a diferenciar una serie de climas, es decir una serie de bandas latitudinales (los klimata) separadas por paralelos que se elegían en función de los incrementos de la duración del día más largo del año: **"...la anchura de cada una de estas zonas o klimas correspondía a una diferencia de duración de media hora entre las duraciones del día más largo observadas en los círculos límites. El primero de los siete climas primitivos así definidos era el de Meroe y los siguientes de Sur a Norte: climas de Siena, Alejandría, Rodas, Roma, de Puente Euxin y del Boristenes..."** (ARLERY y otros 1973 p.3).

Las clasificaciones de los climas elaboradas por los griegos antiguos a partir de unos presupuestos estrictamente astronómicos no tuvieron por tanto una intencionalidad necesariamente climatológica en su sentido actual: en la mayor parte de los casos respondían a un finalismo descriptivo-cartográfico y, en otros, a la constatación de la esfericidad de la Tierra. Klima era una región delimitada por dos paralelos que incluía una serie de nombres de ciudades, de montañas, etc... En determinados casos se describían también las características térmicas generales aunque, naturalmente, éste no era el fin de la descripción (*). La definición de los klimata tomó auge con los trabajos de ERATOSTENES y PTOLOMEO entre otros.

precisamente porque fueron personalidades que impulsaron firmemente la cartografía y la descripción geográfica, la localización por medio de paralelos y meridianos.

A pesar de esto MARIO PINNA (1977 p.306-7) ha escrito recientemente que "...el mérito de haber legado la primera clasificación de los climas por medio de la latitud, fundada en presupuestos astronómcias es debida a los antiguos griegos. Se ha señalado que PARMENIDES DE ELEA (en torno al 500 a.c) tomando como línea divisoria los trópicos y los círculos polares, había distinguido una zona tórrida central, sugerida por la noticias recibidas sobre el desierto del Nubia, dos zonas templadas con clima apacible pero con sensibles oscilaciones térmicas estacionales (tenía presente el clima mediterráneo en medio del cual vivía) y dos zonas frías de cuya existencia tenía certeza pués sabía, también a través de informaciones vagas e imprecisas, que los pueblos al N. de Grecia y de Italia había frio y nieve. La clasificación de PARMENIDES constituye por tanto la primera repartición de los climas por medio de la latitud...". LINES ESCARDO (1982 p.2), por otro lado, ha apuntado que, tal vez, una de las más antiguas clasificaciones de climas "...se daba a PTOLOMEO quién diferenciaba 24 zonas climáticas en la Tierra, basadas en los incrementos de duración del día en el curso del año...".

Hemos citado a MARIO PINNA y a LINES ESCARDO, y son diversos los autores que intentan encontrar las raíces de nuestras clasificaciones climatológicas en la Antigüedad Griega. Pero, nos atreveríamos a afirmar que el significado y el uso de «clima» está desprovisto de cualquier finalidad de explicación a fenómenos físicos o biológicos, ambientales, propios de la superficie terrestre, ni tan siquiera al fenómeno del calor: a nuestro modo de ver, el hecho de que se hiciese en la Grecia Antigua la diferenciación (por otro lado ni tan repetida ni tan extendida como se presume) de zonas térmicas (Templada, Tórrida y Fría) pudo deberse más a la constatación de la existencia de distintos grados de inclinación de los rayos solares que a la constatación de las consecuencias térmicas de dicha inclinación: en ésta una diferencia sutil pero importante puesto que depende del proyecto en que se inserte: existe un proyecto centrado fundamentalmente en cuestiones astronómico-cartográficas y, más concretamente, en un hecho: la latitud (noción de «clima astronómico»), y otro proyecto (moderno) centrado en la temperatura junto a otros fenómenos como la humedad, el viento etc...(el "clima meteorológico") donde la latitud

---

(*)Por ejemplo LUCRECIO habla, al describir las regiones del Mediodía, de "ardientes climas" (regiones calurosas) "que el sol visita en medio de su curso entre los hombres negros y tostados".

pasa a ser un factor más entre otros (*).

Por tanto, aunque durante la Antigüedad grecolatina existen, según hemos visto, ejemplos que nos demuestran cómo, efectivamente, durante aquella época se referían de forma eventual las características térmicas de determinadas regiones o lugares al clima, sin embargo, estas referencias no debieron constituir por entonces más que asociaciones entre dos órdenes de realidades relacionados pero bien distintos de tal modo que vincular a determinado clima unas características térmicas, no implicaba necesariamente (como hoy sucede) que a dichas características se les denominara, también, por medio del término clima.

Es cierto que el término clima aún preside nuestra disciplina, la Climatología, pero previamente se ha vaciado de su finalidad estrictamente astronómica al ser extirpado del contexto anterior en donde se originó y, al mismo tiempo, se le ha provisto de otros significados referidos a un orden de ideas nuevas y más próximo a los fenómenos ambientales. Paradógicamente, otro término relacionado, meteoro, cuyas raíces, el étimo, nos llevan al griego antiguo, ha mostrado simultáneamente una mutación en el orden de realidades a las que quedaba referido su significado, una vez que la Atmósfera como estructura física pudo ser definida y analizada, gracias a los avances operados en la Física Moderna.

Sin duda el progreso de la Ciencia observado en los 2000 últimos años no habrá podido sustituir en todos los casos las voces o vocablos de la Antigüedad pero sí ha dotado a sus acepciones de los descubrimientos hallados en determinados momentos. Uno de los terrenos en que efectivamente se han manifestado unas innovaciones de ideas más profundas y una ruptura más acusada respecto al pensamiento anterior, ha sido en el contexto de la Atmósfera. Por eso los términos conceptuales relacionados con este contexto atmosférico son términos sometidos a importantes procesos de evolución semántica.

El período medieval, además, heredará el término clima con unos contenidos muy próximos a estos que tenía en la Antigüedad. Uno de los contextos medievales más representativos desde el punto de vista cultural, el is-

---

(*)Por esto nos resulta difícil situar el origen del concepto moderno de clima en aquellas épocas de la Antigüedad donde las preocupaciones por el hecho de la radiación solar tenían otros cerroteros, otros fines: olvidar que estos fines eran los hechos astronómicos en sí mismos es adjudicar al pensamiento griego elaboraciones que ellos nunca se propusieron porque pertenecen a proyectos científicos bastante posteriores y diferentes.

lam, recogió esta noción bajo el término "Iklim": "...Iklim viene, en efecto, del griego Klima, literalmente: inclinación y más precisamente la inclinación de la tierra hacia el polo a partir del ecuador de donde: región de las esfera terrestre y, por último, región en general..." (Ver LEWIS.B y otros Encyclopédie de L'Islam p.1103). Un ejemplo digno de mención por nuestra proximidad a él queda constituido por las descripciones de la Península Ibérica del geógrafo árabe IDRISI llevadas a cabo a partir de los klimas, es decir, de las siete regiones latitudinales; como ha apuntado E.SAAVEDRA (1881 p.71) uno de los puntos de analogía entre IDRISI y los antiguos "...consiste en la división del mundo en siete franjas paralelas al Ecuador, denominadas climas, cada una subdividida en diez secciones, contadas de Occidente a Oriente...". No obstante clima también queda referido, en la descripción geográfica de IDRISI, a las regiones administrativas, los distritos o provincias que constituyen los "climas geográficos" para diferenciarlos de los siete grandes climas astronómicos (*).

Fuera del Islam pero siguiendo en el contexto medieval, observamos que el término klima es pronijado por distintas lenguas europeas y sus acepciones antiguas sobreviven. Concretamente lo encontramos en castellano (clima), según J.COROMINAS, tomado del latín clima, climatis', inclinación o curvatura de la superficie terrestre desde el Ecuador al Polo', 'cada una de las grandes regiones en que se dividía dicha superficie por su mayor o menor proximidad a estos dos puntos'. y este del griego klima, su primera documentación data de mediados del S.XIII.

Algunos siglos después de esta primera documentación, en los comienzos de la Edad Moderna (1610), "clima" aún aparece y es definido únicamente como el espacio entre dos paralelos en el cual varía la longitud del día por media hora (COBARRUVIAS). Esta acepción y otras arraigadas en el contexto greco-latino tendrán continuidad de forma que el Diccionario de la Lengua Española apunta en 1970, entre otros, los sentidos de "país, región" ("medida superficial agraria de 60 pies de lado") y, desde el punto de vista 'geográfico', "espacio del globo terráqueo comprendido entre dos paralelos en los cuales el día mayor del año se diferencia en determinada cantidad".

Resumiendo, el término klima, elaborado por el pensa-

---

(*)Así, Andalucía quedará enmarcada en la Sección 1. del clima astronómico IV. A su vez IDRISI la subdivide en diez climas geográficos (provincias): los de Albunera, Sidonia, Aljarafe, Campania, Osuna, Reva, Pechina, Alpujarras, Elvira y Ferreira. Ver IDRISI Geografía de España, publicada en la Col. Textos Medievales, Valencia 1974.

miento griego, se configuraba en su origen como un concepto teórico y astronómico, extrínseco a nuestro planeta y desvinculado de los fenómenos físicos y biológicos propios a esa interfase tierra-aire, de las realidades naturales referidas a las superficie del Planeta. "**Teórico**", porque era la simple deducción de dos hechos conocidos: la radiación solar y la esfericidad de la Tierra. "**Astronómico**",porque quedaba referido a fenómenos celestes, no terrestres, nunca aludía a la existencia de mar o continente, a la altitud de una montaña ni tampoco a la atmósfera. "**Extrínseco**", porque nuestro planeta mantenía de cualquier modo una actitud pasiva ante la actividad solar, de tal modo que esta supuesta clasificación climática primitiva, como ha dicho PETTERSEN (1976), constituía una clasificación solar o de radiación. Por último, "**desvinculado de los fenómenos físicos y biológicos propios de esa interfase tierra-aire**", porque nunca se llevó a cabo explícitamente el intento de elaborar las interconexiones entre los diferentes meteoros: entre las manifestaciones celestes y las propias de la superficie de la Tierra. Paradógicamente nunca hubo un lugar común, en el tratamiento y concepción de Clima y meteoros.

La evolución semántica del término clima no ha corrido paralela a la evolución del conocimiento de los hechos climáticos hasta el S.XIX aproximadamente, cuando se perfila una disciplina científica a la cual se le dá su denominación de Climatología. Ahora bien, que la Climatología no se constituyese hasta los comienzos de la Edad Contemporánea, no significa que no hubiese una serie de contextos anteriores en los que el hombre mostrara una inquietud por el análisis y la consideración explícita de los hechos climáticos (aunque estos aún no fuesen denominados como tales). A nosotros nos interesa realizar un sucinto esbozo histórico de esta cuestión que llega en determinados casos a ser sorprendente y, de cualquier forma, nos sirve para desentrañar, como ya dijimos, los rasgos fundamentales que diferencian, caracterizan y definen nuestra disciplina en su génesis contemporánea así como el campo de conocimientos y procedimientos que le es propio.

## I.3. LAS CONSIDERACIONES DE LOS HECHOS CLIMATICOS EN EL PERIODO PRECIENTIFICO

En el periodo precientífico la Antigüedad nos ha legado diversas obras, justo es reconocerlo, cuyas intenciones y cometidos están bastante próximos a los de nuestra Climatología. De este modo, si dejamos a un lado los trabajos de ARISTOTELES o de TEOFASTRO, de los que hemos hablado (ciertamente más conectados con la descripción física, la explicación y la predicción más o menos inmediata de los fenómenos meteorológicos), podemos llegar a significar, de entre esa diversidad de obras

emparentadas con la Climatología Contemporánea, dos especialmente: los calendarios y el tratado "los aires, aguas y lugares".

La confección del calendario constituye, para nosotros, un primer hito en la consideración de los hechos climáticos desde la Antigüedad hasta nuestros días porque el ritmo cronológico es un aspecto que siempre permanece en la esencia misma del clima. Los calendarios constituyeron la llave del conocimiento de esa característica esencial del fenómeno climático y el atmosférico, llave que abrió las puertas a una primera forma de control de una serie de fenómenos naturales (hidrológicos, biológicos, climatológicos etc...) que hoy sabemos que se interconectan entre sí con estrechas vinculaciones. Esa "llave" fue forjada en la Antigüedad precisamente para intentar dominar el medio natural por medio de la planificación de los recursos que ofrecía, de tal modo que su uso fue fuente de riqueza y de poder.

Como dicen BARRY y PERRY (1973) la necesidad agrícola ha hecho al hombre consciente de la naturaleza y regularidad de las estaciones y del significado de los diferentes vientos, así los granjeros chinos del S.III a.C. dividieron el año en 24 intervalos relacionados con diferentes series de fenómenos del tiempo o sucesos fenológicos, mientras que la gran piedra del Sol Azteca, basada en antecedentes Mayas, ilustra un primitivo conocimiento del régimen estacional en el Nuevo Mundo. También podemos incluir como ejemplo ilustrativo, aunque no se refiera expresamente a un hecho climático sino hidrológico, el calendario solar que los egipcios construyeron para poder determinar con suficiente antelación las fechas de algún fenómeno natural como las avenidas del Nilo (con todo lo que ésta acarreaba para la agricultura) que, puntualmente se observan cada año.

V.GORDON CHILDE (1954 p.168-9) en su obra sobre los orígenes de la civilización social señala : "...cualquiera que pudiera proclamar con éxito el control de los elementos, a través de su magia, adquiría, desde luego, prestigio y autoridad inmensos (...) el calendario solar, además de ser una teoría, se constituyó en una de las fuentes del poder real...".

Junto a los calendarios solares tenemos también los calendarios lunares que encuentran un amplio tratamiento en la tradición babilónica y en la china. Una forma similar al calendario lunar es recogida en los trabajos y los días de HESIODO. Este griego del 750 a.C incluye además sentencias como la que dice: Atiende el momento en que oigas a la grulla lanzar su grito anual desde las altas nubes, porque te anunciará el momento de arar y la estación de las lluvias.

Los calendarios y las sentencias de este tipo han sido, sin duda, la forma más primitiva de aproximación al conocimiento de los fenómenos naturales y, dentro de estos, a los fenómenos climáticos. Podemos resumir a través de los ejemplos vistos que este tipo de aproximación primitiva se ha establecido, en primer lugar, sobre la periodicidad estacional de dichos fenómenos y, en segundo lugar, sobre la ocurrencia (en una determinada fecha) de un hecho totalmente desconectado del anterior pero que se observaba poco antes de que se desencadenara el fenómeno natural en cuestión (el amanecer de la estrella Sirio y la Avenida del Nilo, la migración de las grullas y la época de lluvias, etc...) de tal modo que permitía su predicción. Las primeras aproximaciónes a los fenómenos climatológicos han consistido por tanto en el conocimiento de la periodicidad de los mismos, su ritmo estacional: y los calendarios constituyen la elaboración humana por medio de la cual se abstraía la esencia cronológica de ciertos fenómenos naturales convirtiéndose de este modo en el instrumento por medio del cual se ejercía el control sobre los mismos: representaban, por esto, elaboraciones teóricas próximas a las de nuestra Climatología: se construyen a partir de la observación directa de fenómenos del medio natural y, en segundo lugar, poseen un carácter de teoría aplicada que contribuye a la planificación económica tras haber hecho de ciertos fenómenos naturales y de determinados fenómenos climátologicos un recurso natural de inestimable valor: por ésto, aquellos calendarios donde se trataban eventos climáticos en ciertas ocasiones y fenómenos naturales siempre son de gran interés para nosotros: tengamos en cuenta que ningún climatólogo, desde que esta disciplina se inauguró en el S.XIX, ha podido (ni puede) sustraer del todo a los fenómenos que describe y explica esa dimensión temporal y cíclica que representa el calendario.

Ahora bien, no se puede tampoco concebir la Climatología contemporánea exclusivamente como un calendario: sólo algunas de nuestras elaboraciones se han reducido, de hecho, a delimitar las épocas de aparición, intensificación, debilitamiento o desaparición de cualquier elemento del clima en el transcurso del año (como hacían los calendarios): y, a pesar de que el aspecto temporal sea un componente principal de los hechos climáticos, en el clima se presentan otros aspectos de los que también se ocupa la Climatología. Pero también en la Antigüedad encontramos otros contextos donde se llevó a cabo una aproximación al hecho climático desde otras perspectivas y con intenciones muy diferentes. Así, en la obra "Los aires, las aguas y los lugares", de la Grecia del S.V a.c. se recogen algunas de las consideraciones sobre determinadas realidades climáticas más sorprendentes e interesantes de toda la Antigüedad: no nos recatamos al valorar de este modo aquel tratado hipocrático porque en él se contempló el hecho climático (aunque no sea dema-

minado de esta manera) de una forma muy particular y próxima a un buen número de nuestras elaboraciones de Climatología.

Este compendio, que ha sido considerado como el principal antecedente de un tratado científico de Medicina, trata de profundizar, con palabras de HERMAN BENGTSON (1973 p.117), en los efectos del medio sobre el hombre. Se examina la incidencia que tiene el contexto natural donde un individuo vive sobre su salud y su carácter: de tal forma la obra constituía una guía que ayudaba al médico itinerante griego a hacerse una idea previa del tipo de enfermedades que habría de encontrar en las ciudades que pensara visitar atendiendo a la localización y al ambiente de las mismas (LLOYD.G. 1974 p.87). En el comienzo de "Los aires, los lugares y las aguas", el autor nos dice que es indispensable para el médico, al entrar en una ciudad desconocida para él, ante todo examinar su exposición, sus vientos reinantes, sus estaciones, la naturaleza y elevación de suelo, la calidad de las aguas que beben sus habitantes y su género de vida.

De entre ese conjunto de circunstancias, son las cuatro primeras las que mayor interés tienen para nosotros pues es a través de la consideración de las mismas como se permitía inferir las condiciones de calor y humedad, fundamentalmente, con las que se desenvolvía la vida del hombre. Es decir, permitía inferir uno de los objetivos que mayor atención prestaba la medicina hipocrática: el ambiente predominante, factor cuyas variantes eran consideradas como importantes en el desarrollo de ciertas enfermedades y caracteres.

Sin duda, el relacionar, en primer lugar, vientos predominantes, condiciones topográficas, etc... con unas características ambientales determinadas (especialmente el grado de calor y de humedad) pensamos que es una elaboración con unos contenidos muy próximos a los de ciertos trabajos de Climatología Contemporáneos. Y, el conectar, en segundo lugar, las características ambientales con las condiciones de habitabilidad para el hombre, tal y como se hace en "Los aires, los lugares y las aguas", constituye también uno de los objetivos primordiales de nuestra Climatología.

Según FLASCH, en su Human bioclimatology (1981 p.2), ya en la era pre-cristiana, por ejemplo en el Antiguo Imperio Chino, se habían efectuado caracterizaciones climáticas: ellos habían puesto en evidencia la conexión entre las diferentes formas de la influencia del clima y del tiempo en el organismo vivo; durante el período helenístico en la Grecia Antigua HIPOCRATES (en torno al 400 a.c) fundador de la Medicina Científica, ya había tratado de las influencias atmosféricas en el organismo humano. Estos estudios sientan las pautas de la investi-

gación bioclimatológica.

Ahora bien, la consideración que, en este contexto, se hace del hecho climático, a pesar de ofrecer marcadas conexiones con nuestra Climatología, es, sin embargo, radicalmente diferente a la consideración del hecho climático que ofrecen los calendarios, aunque éstos, simultáneamente, ofrezcan también, como hemos visto, ciertos puntos de contacto con las elaboraciones climatológicas contemporáneas:

Ante todo, el hecho climático tiene, en este contexto, una profunda e inequívoca **connotación ambiental**. Uno de los centros fundamentales sobre el que gira el tratado hipocrático (de sumo interés para nosotros) es el concepto de ambiente que debe soportar el hombre de cada ciudad o región. No cabe duda de que el hecho climático en el contexto hipocrático adquiere el valor de condiciones de habitación y hace referencia a varios elementos entre los que destacan dos: el grado de calor y el grado de humedad, pero considerando siempre a ambos en su interconexión pues es ésta la que conforma, en definitiva, el ambiente. Los calendarios, sin embargo, se ocupaban de fenómenos o hechos climáticos aislados, yuxtapuestos todo lo más, sin interrelación, y además se interesaban no por su significado ambiental sino, más bien, por el aspecto de riesgo o recurso natural que tenían para la economía de la población local.

Podríamos afirmar que, mientras los calendarios (que consideran los hechos climáticos dentro del conjunto de los eventos naturales) se centran en el aspecto cronológico, el tratado hipocrático, por el contrario, (que considera los hechos climáticos dentro del conjunto de las realidades ambientales) se ocupa de las realidades ambientales desde las perspectivas corológicas. Efectivamente, en "Los aires, las aguas y los lugares" no se aborda fundamentalmente el desenvolvimiento temporal, o ritmo, de un fenómeno natural o de un hecho climático en un ámbito, sino las características circunstanciales predominantes del calor y la humedad (el ambiente) en el espacio, es decir, en una diversidad de ámbitos, teniendo en cuenta las diferentes condiciones concretas de altitud, orientación, vientos reinantes, etc... que cada lugar concreto posee. Por este motivo es lícito adjudicar a la consideración que, sobre los hechos climáticos, se hace en el tratado hipocrático no sólo su carácter corológico, como hemos dicho, sino, también su condición geográfica (y nó astronómica como los "klimata" o como los calendarios). La tradicional importancia que, en la Climatología Contemporánea, han poseído los factores geográficos del clima nos indica, una vez más, la proximidad entre el tratado hipocrático y una gran parte de nuestras elaboraciones climatológicas.

Para acabar, hemos de observar cómo los calendarios se construyen a partir de observaciones (probablemente sin registros) extendidas en el tiempo que permiten configurar una descripción con fines abocada a la predicción. La obra hipocrática se elabora también a partir de observaciones pero, en este caso, extendidas en el espacio que permitían no sólo la descripción de los ambientes de cada comarca sino, además, la interrelación estrecha de éstos con las demás realidades naturales propias y distintivas del lugar considerado: el considerar el ambiente como resultado (al menos en parte) de una serie de factores tales como el viento reinante, la altitud sobre el nivel del mar, la orientación, etc... dá cabida a la explicación de tipo causal que tiene amplio desarrollo en la Climatología contemporánea y desde luego no encontramos en los calendarios donde únicamente se agrupan fenómenos completamente disociados, por ejemplo la avenida del Nilo y la aparición de la estrella Sirio (Sothis).

A pesar de estas profundas diferencias, los calendarios y el tratado **"Los aires, las aguas y los lugares"** representan simultáneamente ejemplos concretos del interés que, yá en la Antigüedad, despertaba el hecho climático aunque dicho interés se correspondiese en cada caso con intencionalidades muy diferentes, conduciendo por ello a consideraciones del mismo también distintas. Pero tampoco en estos otros casos la atención prestada a los fenómenos climatológicos conducía a la elaboración de un tratado específico sobre el clima: los estudios de Climatología no existían en la Antigüedad y, mucho menos, una disciplina centrada de forma particular en estos temas, porque el clima no era (en su complejidad) un objeto explícito de estudio, sólo se abordaban determinadas realidades climatológicas:

Los calendarios, según hemos visto, sólo hacían referencia a aspectos parciales del clima en contados casos (como en los calendarios chinos): existen otros calendarios, como el egipcio, donde sin embargo se trata un tipo de fenómenos naturales distinto, concretamente el comportamiento del Nilo: además los calendarios sustancialmente constituyen elaboraciones astronómicas, no climatológicas: como expresa V.GORDON CHILDE (1954 p.170), representan la primera justificación de la pretensión científica de predecir y el primer triunfo de la astronomía matemática.

Tampoco podemos considerar "Los aires, las aguas y los lugares" como una obra de Climatología, a pesar de que el ambiente se le preste aquí una detenida atención. Fundamentalmente configura un tratado de medicina cuyo el objeto de estudio principal es la salud del hombre: **"...es una de las primeras expresiones -dice FARRINGTON en su Ciencia Griega- de esta concepción bien definida del efecto sobre la constitución del hombre, no sólo de**

su ambiente natural, sino también de su ambiente político. El médico hipocrático consideraba lo que el hombre comía, la calidad de las aguas que tomaba, el clima en que vivía y el efecto que tenía sobre él la libertad griega o el despotismo oriental..." (FARRINGTON.B 1957 p.83-84).

Para nosotros, el valor que detentan estas primitivas aproximaciones a las realidades climatológicas llevadas a cabo en la Antigüedad es, sobre todo, un valor histórico. Aunque se prolongaran en el tiempo hasta mucho después de las fechas en que tuvieron lugar, y a pesar de que fueran incluso conocidas y consideradas en algunas elaboraciones de Climatología contemporánea, no obstante, no podemos pensar en ellas como precedentes de nuestra disciplina: en lo esencial nada tuvieron que ver con el surgimiento de la Climatología en el S.XIX. Se trata, pues, de simples antecedentes, lejanos, en la consideración de los hechos climatológicos.

## II. EL CONTEXTO DE LA EDAD MODERNA. LOS DESCUBRIMIENTOS A TRAVES DE LAS EXPLORACIONES Y DE LA NUEVA CIENCIA: CLAVES PARA LA FORMULACION DE LOS CONCEPTOS DE TIEMPO ATMOSFERICO Y DE ATMOSFERA. BASES PARA EL NACIMIENTO DE LA CLIMATOLOGIA..

A expensas de los conceptos antiguos de clima y meteorología nunca pudo surgir el significado que estos términos poseen hoy: ni de las consideraciones sobre hechos climáticos de entonces tampoco pudo surgir la actual Climatología.

Sólo la investigación, el análisis y la explicación de la Naturaleza encauzada bajo otras orientaciones y dirigidas por el afán de alcanzar otros fines (filosóficos y prácticos), hizo que los antiguos vocablos fuesen en su momento retomados aunque se les dotara de un sentido diferente, quedando de este modo referidos a nuevas realidades. Es el cambio del concepto del mundo que se opera en una revolución científica, del que nos habla T.S.KUHN (1971 p.176) el hecho en el que deseamos insistir: "...guiados por un nuevo paradigma, los científicos adoptan nuevos instrumentos y buscan en lugares nuevos. Lo que es todavía más importante durante las revoluciones los científicos ven cosas nuevas y diferentes al mirar con instrumentos conocidos y en lugares en los que ya habían buscado antes...".

### II.1. LA NUEVA CIENCIA.

Rebasando la Edad Media, con el Renacimiento, se inician nuevos horizontes epistemológicos, abiertos fundamentalmente en los contextos urbanos que ahora rebrotan con ímpetu, tras el semiletargo medieval, gracias

a la cada vez más florenciente actividad comercial, que en gran medida los sustenta y les dá vida.

Una filosofía de la Naturaleza propia se vá a inaugurar y los primeros pasos constituyen el desafío a la vieja imagen del mundo que la Edad Media había prohijado de los tiempos clásicos. El lance fué protagonizado por personas cuyos nombres han sido grabados en la Historia de las Ciencias cuando menos como revolucionarios: COPERNICO, KEPLER, GALILEO GALILEI. Corrió a su cargo la puesta en duda de las ideas antes aceptadas. Para ello recurrieron en determinados casos, sobre todo por parte del último mencionado, al método experimental y al análisis matemático. Según DESANT (1976 P.81) "...podría decirse que la revolución introducida por GALILEO consiste en ese momento en que la matemática puede definir en el corazón de la Naturaleza los sistemas accesibles de fenómenos observables...".

Estas decisivas aportaciones fueron el preámbulo del triunfo de la nueva ciencia pues, trás la negación del orden de ideas antiguo, vino la afirmación de un órden de ideas nuevo. Como dice BERNAL (1967 p.288) el trabajo de muchas manos y de muchas mentes finalizó en la formulación por NEWTON de los "Principios Matemáticos de la Filosofía Natural", base sobre la cuál podría construirse confiadamente el resto de la Ciencia. Las causas finales fueron sustituidas por las causas mecánicas y el universo jerárquico de la Edad Media fue abrogado y sustituido por otro. A partir de entonces las partículas pudieron entrar libremente en interacción guiadas por la invisible constitución de las Leyes Naturales. Y a su vez se pensó que el conocimiento de estas leyes era el medio para someter las fuerzas de la Naturaleza al dominio del hombre. La contemplación cedió paso a la acción.

Pero hemos de anticipar ahora que esta situación de ruptura con la Antigüedad y el Medievo no daría luz directamente a los modernos conceptos de clima y meteorología, entre otras cosas porque el tratamiento físico del aire atmosférico no constituyó un motivo central y explícito de estudio hasta más tarde. Fué la nueva orientación que tomaron las aspiraciones científicas respecto al descubrimiento de los secretos de la Naturaleza, sus sucesivos logros y el método basado en la experimentación y el análisis matemático (*), las bases que permitirán

---

(*)"...Vanas y llenas de errores me parecen aquellas ciencias que no nacen de la experiencia, madre de toda certidumbre, ni terminan en una noción experimental: es decir, tales que, ni su origen, ni su medio, ni su fin pasan por ninguno de los cinco sentidos...", "...Ninguna investigación humana puede llamarse verdadera ciencia si no pasa por la demostración matemática..." (Aforismos de VINCI, LEONARDO DA. 1965 p.31 y 36).

dar unos contenidos especificos y unas caracteristicas metocológicas al estudio del contexto aerológico. Por esto nos interesa reflexionar sobre algunos asoectos del desarrollo de la Ciencia a partir del S.XVI.

Es cierto, y se puede admitir con CHATELET (1976 p.205), que la Ciencia Moderna en sus dos aspectos: formal, o sea matemático, y experimental, o sea físico, tuvo una gran trascendencia en el S.XVII, llegando a constituir uno de los protagonistas de la preocupación filosfófica de este siglo (junto a la Metafisica). Pero, prácticamente hasta el S.XIX, no se produjo un progreso de la ciencia definitivo en donde la Física, la Química y la Biología se extendieran y proliferaran en distintas subciencias, dando lugar a un gran contingente de investigaciones en todos los ámbitos de la Naturaleza y de la técnica (como el que BACON había soñado sin poder realizar), efectuadas por mentes ya formadas en la disciplina de la observación, la experimentación y el cálculo, legadas por los siglos XVII y parte del XVIII (BERNAL 1967 p.426). Este es el caso de las disciplinas meteorológica y climatológica.

Pasamos, a continuación a destacar algunos "útiles" que, en el periodo del S. XVI-XIX, sirvieron para poder definir la atmósfera y las propiedades físicas del aire, elementos éstos que tanto interés tuvieron para la nueva concepción del tiempo atmosférico, de los meteoros y del clima. Estos "útiles" fueron de tres tipos: **1.teóricos (la actitud científica), 2.conceptuales (nociones sobre fenómenos naturales), y, 3.instrumentales (aparatos más o menos simples concebidos para realizar experiencias):** "útiles" cuyo fin era el entendimiento de los fenómenos naturales acorde con el nuevo espíritu científico de la época: empírico y mecanicista (al menos en los aspectos más trascendentales para nosotros).

**1)** Nos interesa destacar ante todo la valoración que se le dá al experimento (la experiencia) y el empeño en reducir la Filosfía de la Naturaleza a ciencia física por un lado y, por otro, a ciencia exacta y métrica, abonadonando la cualidad aristotélica: **este espíritu científico** dejó en deuda con él la actividad científica posterior; constituyó un paso decisivo pués de hecho la Meteorología y la Climatología se configurarían en su debido momento como ciencias Físicas y Métricas.

**2)** La actitud científica de la época del S.XVI-XVIII, prolongada hacia el S.XVIII-XIX, trajo consigo la necesidad de construir unos **"útiles instrumentales"** cuyo uso resultaban inevitables para lograr las observaciones exactas y objetivas de las cuales precisaba el nuevo espíritu científico.



La Climatología y la Meteorología modernas, como ciencias naturales empíricas y métricas, recogerán y se beneficiarán de estos "útiles instrumentales", quedando su desarrollo condicionado al uso de los mismos, es decir a la medición empírica, en este caso realizada no en el laboratorio sino en el aire atmosférico. Sin embargo, lo mismo que ocurre con los "útiles conceptuales", los "útiles instrumentales" no fueron en muchos casos inmediatamente aplicados para el conocimiento del aire atmosférico.

Uno de los primeros artificios de medición es el termómetro: fué hacia 1593 cuando GALILEO construyó un rudimentario termómetro (según otros fué SANTORIO hacia 1598-1611); este sencillo aparato estuvo en sus inicios destinado primordialmente a fines médicos y sólo algún tiempo después fué aplicado para realizar observaciones empíricas al aire libre, una vez que se perfeccionó y se le dotó de una escala: sin embargo, antes incluso de que se realizara el perfeccionamiento del termometro, el médico ROBERT FLUDD ideó aplicarlo a la observación de la atmósfera, según nos relata DOMERIE en su Historia de la Ciencia: **"...un instrumento parecido -al de GALILEO- fue empleado pocos años más tarde por ROBERT FLUDD para demostrar, según él, los efectos cósmicos de la luz y la oscuridad, y del calor y el frío, para indicar o predecir las condiciones climáticas y para medir los cambios de temperatura..."** (1974 p.222). El proyecto de aquel médico inglés no obstante habría de aguardar algún tiempo.

En segundo lugar hemos de aludir al barómetro. Ideado por TORRICELLI hacia 1644 probablemente no estuvo destinado, en un principio, a medir el peso o la presión atmosférica, más bien usaba la atmósfera como constante para medir el peso de la columna de mercurio encerrada en el tubo (WESTFALL p.71). Sin embargo, rápidamente se observó que a ciertos cambios de la columna de mercurio se correspondían unos fenómenos meteorológicos determinados: lluvia, viento, etc...entonces el barómetro pasó de ser un instrumento de laboratorio a constituir un aparato de observación y medición de la atmósfera.

La etapa del S.XVI-XIX ofreció además otros "útiles instrumentales" tales como el anemómetro de molinete de SANTORIO (hacia 1600) o el anemómetro de palas de HOOKE (1664), el pluviómetro de CASTELLI (1630), tales como el higrómetro de cabello ideado por HORACIO BENEDICTO DE SAUSURE (en 1780), el anemómetro de WOLTMAN (hacia 1790), y ya en el S.XIX el pirheliometro, el atmómetro, el barómetro aneroide, el psicómetro etc...Sin embargo estos aparatos a diferencia del termoscopio o del barómetro fueron directamente pensados para la observación de los correspondientes fenómenos atmosféricos.

Entre el S.XVI-XIX se construyeron los medios que

marcarían el tránsito de la observación sensorial a la observación instrumental y a la anotación métrica, exacta. Esto fué importantísimo porque, como ha escrito Sr. HOWARD DANIEL (1975 p.200), el desarrollo de los instrumentos hizo posible que otra generación de científicos, en los S.XVII y XVIII estableciese ciertas leyes físicas (que esbozaremos a continuación) fundamentales sin las cuales no se hubieran podido conseguir muchos progresos en la comprensión de los fenómenos meteorológicos.

3) En cuanto a los "útiles conceptuales" debemos de destacar, por un lado, la elaboración de una serie de nociones que supusieron la apertura al conocimiento de nuevas realidades antes desconocidas, ignoradas o negadas apriorísticamente, y, por otro lado, el replanteamiento de la consideración de aquellos otros fenómenos naturales conocidos y aceptados con anterioridad pero que ahora son concebidos bajo perspectivas muy distintas, de tal modo que su fundamento y funcionamiento sólo tendría validez en la nueva forma de concebir la Naturaleza.

Ciertos "útiles conceptuales" abordados y formulados en esta época del S.XVI-XVIII sin una intencionalidad explícitamente meteorológica o climática habían de tener, no obstante, un enorme interés, posteriormente, para la configuración y el desarrollo de estas disciplinas. Dentro de los "útiles conceptuales", o nociones elaboradas sobre fenómenos naturales, nos interesa destacar sólo aquéllas desarrolladas en torno a la presión, al calor y al movimiento: nos limitamos sólo a éstos porque, como veremos, fueron las nociones que, con mayor nitidez habrían de esbozar unos objetos de estudio específicos para la Climatología y para la Meteorología una vez que, tras ser formulados, fueron referidos de manera manifiesta a la atmósfera.

Empecemos por <u>la presión</u>. La filosofía mecanicista no pudo encontrar desde luego un área más apropiada que la estática de fluidos para apoyar sus afirmaciones y consolidar su propia filosofía de la Naturaleza. En este contexto de búsqueda fué hallado un fenómeno: la presión que existe en el interior de los fluidos producto de su propio peso. Posteriormente se descubrió otro hecho ciertamente relacionado: los fluidos gaseosos están provistos de elasticidad, una capacidad especial para la comprensión y la expansión. Paradógicamente, las experiencias que hicieron posibles estos hallazgos fueron realizadas en íntima conexión con la atmósfera y el aire atmosférico, pero los resultados de aquellas no incluyeron, como hemos dicho antes, inmediata y directamente el estudio y la definición de la atmósfera misma sino a la expresión general de las propiedades de los fluidos (PASCAL y la ecuación de la hidrostática) y a la formulación global de propiedades de los fluidos gaseosos (BOYLE-MARIOTTE y la ley que lleva sus nombres, preámbulo de la posterior

ecuación de estado para los gases). Veamos los aspectos más relevantes.

Trás las evicencias sobre el peso de la atmósfera y la existencia del vacío puestas de manifiesto por TORRICELLI gracias a su tubo de mercurio, PASCAL se dedicó a ampliar aún más las experiencias de aquél discípulo de GALILEO, e intentó demostrar que, efectivamente, la naturaleza aborrece el vacío, como aseguraban quienes, recogiendo las ideas de ARISTOTELES, suscitaron una fuerte polémica en torno a las conclusiones de TORRICELLI; pero PASCAL demostró, además, que ese "horror" al vacío es finito y se mide por el peso de la columna de mercurio en el tubo 1033 gr/mm2, afirmación que evidencia el modo de expresión del nuevo espíritu científico; incidiendo PASCAL aún más en estos hechos llevó a cabo su célebre medición en Puy de Dome, en colaboración con su cuñado PERIER, trás la cual concluyó definitivamente que en el tubo de mercurio está en juego un equilibrio simple de pesos, el peso de la atmósfera y el de la columna de líquido, pués ascendiendo en el aire a través de una montaña, el peso de la atmósfera se hace menor y el mercurio desciende (*). Esta afirmación está acorde con el principio fundamental de la hidrostática que él mismo expresó, y con la ley de la presión hidrostática (Ver SEARS 1965 p.357-8).

Como dice PETTERSSEN (1976 p.21) los descubrimientos de TORRICELLI y de PASCAL, así como las exibiciones de los hemisferios de Madeburgo por VON GUERICKE en 1654 "...pusieron en claro que 'la tierra está rodeada por un mar de aire', y puesto que el aire pesa, 'la presión ejercida por él tiene que ser máxima en el fondo, y decrecer con la altura sobre la superficie de la tierra'...".

Estas primeras aproximaciones determinaron el paso inicial hacia el conocimiento físico de la atmósfera, pero, además, condujeron a otras experiencias que permitirían una definición más adecuada del fenómeno, así como el acceso a la formulación de otras nuevas realidades con él conectadas; en este sentido debemos aludir a BOYLE quién llegó a la conclusión de que el ámbito aéreo es

---

(*)Estos fenómenos son producto para PASCAL de lo que se denomina presión hidrostática que se expresa p = d.g.h de tal modo que el incremento negativo de p es = d.g.incremento de h, es decir, cuando se incrementa la altura en él de aire, la presión sufre un incremento correlativo pero negativo. Puede observarse que es aplicable a los fluidos líquidos: al variar p (presión) sólo varía h (altura) y viceversa mientras el fluido líquido sea el mismo lo cuál induce a una (densidad) aproximadamente igual a cualquier p ó h pués los líquidos son poco comprensibles.

"elástico": como nos describe BERNAL (1967 p.360) "...El empleo de las bombas aspirantes, y especialmente el esfuerzo realizado al bombear, condujeron a BOYLE a un estudio acerca del comportamiento del aire en comprensión y en expansión. De este modo llegó a descubrir la primera ley científica extraña a la simple mecánica, a la que llamó ley de 'elasticidad del aire', hoy conocida como Ley de BOYLE: el resultado de la multiplicación de la presión de una determinada cantidad de aire por su volumen es una cantidad constante o, como se determinaría posteriormente, es directamente proporcional a la temperatura...". Separadamente y sobre la misma época MARIOTTE llegó a las mismas conclusiones. Este descubrimiento de la propiedad elástica de los gases tendría una variada gama de consecuencias fundamentales, de las cuales nos interesan particularmente dos:

La primera consecuancia será el desarrollo del estudio sobre los gases y sus propiedades. BOYLE y MARIOTTE brindaron la posilidad de distinguir, entre los fluidos en general, aquéllos específicamente "elásticos": dicha diferenciación responde, por primera vez, a un comportamiento físico empíricamente demostrado y expresado en forma de ley, la ley que lleva sus nombres, que permite pasar a definir los gases por su funcionamiento más que por su apariencia. Por ello las aportaciones de BOYLE-MARIOTTE entre el volúmen específico (concepto asociado al de densidad) y presión fue ampliado posteriormente. En torno a 1800 se incluirá en la relación, expresamente, un tercer elemento, la temperatura, para obtener el denominado "coeficiente de dilatación de un gas a volúmen constante" o "coeficiente térmico de presión de gas" (hallado por CHARLES), así como la "ley de dilatación de los gases a presión constante" (por GAY-LUSACC) (*).

Las expresiones de BOYLE-MARIOTTE, CHARLES y GAY-LUSACC, así como el establecimiento de la Constante universal para los gases (número de ABOGADRO) sustentaron la ecuación de estado para los gases ideales (S.XIX) igualmente funcamental para abordar el análisis de la atmósfera, incluso para definirla, o para examinar adecuadamente ciertos fenómenos que en ella

---

(*)CHARLES: p=po+1/273.t.po donde po es la presión del gas a 0º C; t es la variación de la temperatura en grados centígrados; 1/273 es el coeficiente de dilatación de todos los gases o variación de volúmen por cada grado centígrado.

GAY-LUSSAC: v=vo+1/273.t.vo donde vo es el volúmen a 0º C.

BOYLE: p.v = k donde p=presión; v=volúmen; y k=constante.

se presentan.

La segunda consecuencia que tuvo el descubrimiento de la propiedad elástica de los gases es la correción de las ideas sobre variaciones de la presión con la altura en la atmósfera mantenida por PASCAL quién, como hemos visto, hacía derivar dichas variaciones sólo de la aplicación de la ecuación hidrostática, como si la atmósfera se comportase igual que un fluido (de ahí esa significativa expresión "mar de aire" para la atmósfera, antes mencionada), partiendo del presupuesto, falso, de que la densidad permanecía constante, es decir, de que el aire era incomprimible como ocurre aproximadamente con los liquidos (*)

El hallazgo de BOYLE-MARIOTTE sobre la elasticidad del gas entraba en conflicto con la suposición pascaliana de un aire incomprimible (un "mar de aire"); al mismo tiempo permitia entender y expresar el fenómeno de la variación presión-altura correctamente, cuando fuese aplicado a la atmósfera, labor intentada por HALLEY y lograda plenamente por LAPLACE (**).

BOYLE y MARIOTTE aportaron a la ciencia física unas nociones que serían aprovechadas con posterioridad cons-

---

(*)Si la atmósfera fuese como Pascal proponia, el aire no sufriria ese "enrarecimiento" que experimenta con la altura imponiendo, de hecho, un límite a las condiciones de habitabilidad: ni tampoco la mitad de la masa de la atmósfera se encontraria por debajo tán sólo de los 5,5 Km de altura mientras que entre los 5.5 y los 11 Km superiores comprende únicamente 1/4: de hecho la cantidad de agua por m3 es aproximadamente igual a cualquier profundidad en un océano, mientras que la cantidad de aire por m3 en la superficie de la tierra 1.2255 Kg/m3 en la atmósfera estándar) es superior a la que existe a 3500 mts de altitud, ej Mulhacen por ejemplo (0.8634 Kg/m3), o a 40 Km de altura (0.0017 Kg/m3).

---

(**)Ley del equilibrio hidrostático, cuyo principio fundamenal fué expresada por PASCAL, se aplica los fluidos:

-incremento = d. g. incremento de z

La Ley de la ecuación de estado, elaborada por los sucesivos trabajos que desarrollaron la ley de BOYLE-MARIOTTE, es: p = d. R. T

si-incremento de p = d.g. incremento de z

y -incremento de p/p= d/d.g/R.incremento de z/T:

entonces -R/g.T.incremento de p/p = incremento de z:

como incremento de p/p = incremento de (log p) cuando incremento de p es muy pequeño en comparación con p.

entonces p=d.R.T.

-incremento de z = -R/g.T.incremento de(log p)

Por tanto: z-zo = R/g (To+T1+...).(log p-log po) =

R/g.Tm.log.po/p donde Tm es la temperatura media:es exore sión moderna de la formulac.de LAPLACE. Veáse PETTERSSEN.

tituvenoo los "útiles conceptuales" que habrían de permitir la adecuada concepción de la atmósfera: por un lado como una envoltura gaseosa, y nó como un "mar de aire" y, por otro lado, como un ámbito físico regido, consiguientemente, por leyes físicas, las de la hidrostática y, simultáneamente, las leyes de los gases, entre otras. No obstante, estas cuestiones que, junto con las que a continuación trataremos, tanto contribuyeron a la definición de la atmósfera y al correcto entendimiento de los procesos que en ella se observaron, las emplazamos para el próximo apartado donde nos dedicaremos a examinar el desarrollo del estudio de la Atmósfera y del tiempo atmosférico: pero, en ese próximo apartado, habremos de recordar el interés que tuvieron, para la nueva concepción de la Meteorología, los "útiles conceptuales" aportados primero por TORRICELLI y PASCAL, luego por BOYLE-MARIOTTE, CHARLES, GAY-LUSSAC, etc...entre otros, que marcan desde luego una profunda ruptura respecto al periodo anterior (el periodo precientífico).

Para alcanzar una comprensión de los fenómenos atmosféricos como realidades físicas regidas por unas leyes exactas, para acceder a la concepción física de la Atmósfera o, simplemente, para llegar a concebir la Atmósfera tal cual, sin más, hemos puesto de relieve el valor que tuvieron las nociones desarrolladas sobre la presión. Sin embargo, no fueron las únicas: igualmente importantes son, a este respecto, las ideas elaboradas a partir del S.XVI sobre <u>el calor</u>. Merecen por ello que les dediquemos también atención.

Proponemos el S.XVI porque será, bajo las nuevas pretensiones científicas que se inauguran en esta época, cuando el calor, como afirma BERNAL (1967 p.444), abandonó definitivamente el orbe de la filosofía cualitativa para entrar en el ámbito de la ciencia métrica-cuantitativa: este cambio diametral en la consideración del calor originó la aparición de una serie de ideas y de realizaciones prácticas totalmente inéditas, un nuevo contexto del que dimanarían directamente otro conjunto de "útiles conceptuales" que habrían de ser aprovechados con posterioridad para el entendimiento y la concepción física de la atmósfera y del tiempo atmosférico: en ello reside el aliciente que tiene también para nosotros la consideración del calor en el contexto de la Ciencia Moderna.

Los replanteamientos sobre el calor realizados a partir del S.XVI indujeron, en primera instancia, la introducción de una noción en la cual quedaba implícita una profunda e inequívoca significación métrica, acorde con la concepción cuantitativa del calor: es la noción de temperatura. Las antiguas nociones contrapuestas "frío/-caliente", asociadas a la observación sensorial del calor, resultaban limitadas, subjetivas e imprecisas, en relación a las nuevas pretensiones científicas. Estas

dificultades que presenta la consideración cualitativa y sensorial del calor "...se salvan -dice PRELAT- en gran parte, al menos, mediante el uso del termómetro y la introducción del concepto de temperatura ...." (PRELAT 1951 p.13). Los términos frio/caliente son sustituidos por el término temperatura con el cual se designa el "grado" o cantidad objetiva, exacta, de intensidad de calor que posee un determinado cuerpo.

En la primera mitad del S.XVIII yá estaban puestos los medios precisos para abordar adecuadamente el estudio del calor: la posibilidad de observación instrumental y empirica que brindaba el termómetro comienza a dar sus frutos a partir, aproximadamente, de 1750, fecha en la que quedaban abiertas las puertas al desarrollo de la calorimetria, a la formulación de ciertos conceptos básicos y al establecimiento de teorias firmemente apoyadas en las experiencias realizadas con empleo del termómetro.

Si personalizamos estos adelantos en alguien necesariamente hemos de citar a JOSEPH BLACK. Fué sin lugar a dudas el gran pionero en el estudio del calor. Su primera aportación fue la diferenciación entre temperatura y calor, como dos realidades estrechamente vinculadas pero distintas; según escribe A.W.PORTER (1951 p.17) "...la confusión corriente entre calor y temperatura la percibió claramente por primera vez JOSEPH BLACK (1759-63) (...) Señaló que debía establecerse una distinción entre cantidad e intensidad de calor, siendo la última lo que hoy llamamos temperatura...".

Hoy esta diferenciación nos parece simple y tal vez ingénua pero en aquél tiempo resultó fundamental: fundamental en sí misma pués determinaria la traslación definitiva del centro de atención desde la temperatura hacia el calor; y fundamental, también, por las nociones que habrian de sustentarle entre las cuales destacaremos las que hoy conocemos con el nombre de calor latente/calor sensible (*) por un lado y el calor especifico/capacidad

---

(*)El calor sensible se manifiesta por la temperatura: cuanto mayor sea la cantidad de "calórico" absorbida por un cuerpo mayor será su temperatura. Ahora bien, un cuerpo puede, al "combinarse" con el calórico, verse transformado: hielo en agua y agua en vapor, por ejemplo. Entonces el calórico, entendido como una sustancia química, pasa a ser un elemento constituyente del cuerpo transformado, es decir pasa a ser "calor latente" y no se manifiesta como "calor sensible", por tanto no se observa alteración térmica. Sólo, cuando el cuerpo transformado regrese a su estado anterior (el vapor a agua o el agua a hielo), el calórico se "liberará" y ese calor latente de fusión o de vaporización se manifestará como calor sensible. Vease PRELAT, C.E (1951), especialmente el capitulo "Evolución histórica del concepto de calor".

calorífica (*) por otro, conceptos básicos hallados en experiencias que marcaron la pauta de la calorimetría y condujeron a BLACK, y a toda su época, a considerar el calor como una sustancia material sin peso, imponderable, un fluido que ni se crea ni se destruye, un elemento en el sentido químico, al que LAVOISIER llamaría más tarde (1787) calórico.

Aunque la teoría del calórico sería superada en el S.XIX y de esta superación dimanarían algunos de los "útiles conceptuales" de mayor interés para el adecuado entendimiento de la atmósfera como ente físico y dinámico, no obstante, en el contexto del S.XVIII surgieron yá nociones válidas que rápidamente se aplicaron a la superficie de nuestro planeta y al aire atmosférico en contacto con ella, dando lugar de este modo al replanteamiento del concepto de clima y a la plasmación gráfica de este nuevo concepto.

Estas ideas sobre el calor y la temperatura desarrolladas durante la segunda mitad del S.XVIII fueron las responsables directas de que se otorgara (en un contexto diferente a éste que ocupa nuestra atención ahora) a la superficie de nuestro planeta un papel activo en la distribución de temperaturas: la superficie de la tierra es la que convierte en último término la radiación solar en calor sensible y ello habría de sugerir que los fenómenos térmicos advertidos y observados en la superficie del Planeta no constituían realidades extrínsecas sino efectos intrínsecos a ella: la superficie del Globo, aparte de ofrecer condiciones de inclinación diferentes, según la latitud y la época del año (según el "klinein" griego), a los rayos solares, mostraba además una desigual distribución de tierras y mares cuya diferente capacidad calorífica implicaba unas condiciones de conversión de la actividad solar en calor sensible también distintas. El concepto de clima ha pasado del contexto astronómico (Edad Antigua) al contexto geográfico y, como después veremos, al contexto atmosférico, donde tendrán cabida no sólo los fenómenos térmicos sino otros fenómenos propiamente atmosféricos, igualmente como realidades intrínsecas.

Las ideas expuestas sobre la temperatura y el calor en los S.XVI-XVIII tuvieron una incidencia sobre ciertos aspectos relativos a la conceptualización moderna del clima de notorio interés tal y como acabamos de ver: por un lado la concepción métrica del calor (la introducción

---

(*)Para variar su temperatura en un intervalo determinado, distintas sustancias precisan unas cantidades de "calórico" diferentes. Esta relación es la que dá el calor específico de una determinada sustancia. (Ver HOLTON, 1983 p.34)).

del concepto de temperatura) y, por otro lado, la consideración de éste como un fenómeno intrínseco de los cuerpos, presente en ellos bajo los presupuestos o las leyes halladas en las experiencias calorimétricas (el calor específico y la capacidad calorífica de la materia, por ejemplo). Estas son, ya, dos aportaciones fundamentales tanto para abordar acecuadamente las características del calor en la superficie terrestre como para hacer del clima un concepto referido a una realidad planetaria geográfica (después atmosférica) y no sólo astronómica.

Sin embargo, será preciso esperar al S.XIX (cuando incluso alboreaban las primeras realizaciones importantes de la Climatología y la Meteorología) para que ocurra la completa revolución en torno a la concepción del calor y surjan de este modo las nuevas nociones que harían posible el entendimiento aún más preciso y correcto de la atmósfera en su globalidad y de su dinámica.

Sobre la concepción decimonónica del calor creemos necesario citar tres conjuntos de ideas íntimamente conexionadas: primero la concepción mecánica del calor; segundo la idea del calor como una forma de energía, y, tercero, la asociación de la nueva concepción del calor a los estados y cambios de estado de la materia. Veámoslo:

En primer término hemos aludido a la **teoría mecánica del calor**, es decir, la concepción del calor como resultado del movimiento molecular interno de la materia, sea sólida, líquida o gaseosa, en sustitución de la noción (química) dieciochesca del calórico. Esta innovación en la consideración del calor, como es lógico, tuvo en su aparición una necesaria vinculación a la formulación de la teoría atómica de la materia y a la determinación de la energía cinética molecular, con cuyos planteamientos no sólo estaba acorde sino que, además, le eran totalmente imprescindibles: **"...La idea comúnmente aceptada de la naturaleza de la materia -dice HOLTON respecto a la época de 1850- estaba sufriendo un profundo cambio (...) hacia un punto de vista más favorable de la conservación del calor como forma de la energía, a saber: la energía cinética del movimiento de las moléculas..."** (HOLTON, 1983 p.399). Este cambio de ideas respecto al calor y a la materia constituye un árduo y prolongado camino que arranca en 1738 y llega hasta 1850-60. La concepción mecánica del calor, apoyada en el cinematismo de la materia induce la equivalencia (expresada como veremos a continuación en la primera ley de la termodinámica) entre la energía calorífica y el trabajo (en el caso de los gases el trabajo realizado por un gas en su expansión el trabajo que se debe emplear en su compresión): temperatura absoluta (grados KELVIN) y presión serán definitivamente dos variables irremediablemente vinculadas por el nexo de la energía cinética interna, el calor: de este

moco se pasa de la ley de BOYLE-MARIOTTE a la Ecuación de estado para los gases donde se ha intruducido la "constante universal de los gases", el peso molecular relativo (cociente de la masa "m" de la muestra por su peso molecular "M", es decir el número de moles de la muestra) y la temperatura absoluta (grados KELVIN).

En un segundo término tenemos **la idea del calor como una forma de energía.** La noción de energía acuñada con su sentido actual a principios del siglo (1807) (HOLTON 1983 p.39), va a verse envuelta en una serie de experiencias, protagonizadas por MAYER (1842) y JOULE (1843) que conducirían a la determinación de la ley de la conservación de la energía, generalización que constituye una de las principales contribuciones del S.XIX a la Ciencia Física. La interconvertibilidad del calor en trabajo (el de expansión del aire por ejemplo) o viceversa, representa sólo un caso particular de las diversas formas de conversión, sin embargo, este caso particular de la ley de la equivalencia y conservación de la energía, vinculado estrechamente a la actividad técnica industrial (máquina de vapor), fue especialmente desarrollado (CARNOT y después CLAUSIUS y KELVIN) quedando expresado como la primera ley de la termodinámica: **"...La primera ley de la termodinámica -afirma BERNAL en su valoración retrospectiva- proporcionaba su principio de unificación al mostrar que las fuerzas de la naturaleza hasta entonces consideradas distintas (el movimiento material, el sonido, el calor, la luz, la electricidad y el magnetismo) eran todas ellas mensurables en las mismas unidades, las de la energía, cuya cantidad en el universo no aumenta ni disminuye..."** (BERNAL 1967 p.427).

En tercer lugar, para completar la visión sobre la concepción del calor en el S.XIX necesariamente hemos de hacer referencia, aunque sucinta, a la conexión que se estableció entre los **cambios de estado de la materia y su calor interno.** Las ideas a este respecto arrancan vá de la Antiguedad (ARISTOTELES) prolongándose durante el S.XVII (HOOKE y las leyes de fusión y ebullición) y el S.XVIII (la teoría del calórico y las nociones de calor latente, especifico, etc...) bajo las nuevas perspectivas empíricas de la calorimetría que supusieron un gran avance, para acceder por fin al S.XIX época en la que se lleva a cabo una renovación total de la concepción sobre los estados y cambios de estado de la materia, más acorde con las nuevas perspectivas teóricas a través de las cuales sería entendido el calor y la materia misma, según hemos referido antes. Si, en el conjunto de los cambios de estado de la materia, nos centramos exclusivamente en el sistema líquido/vapor una de las ideas manifiestamente consonantes con la nueva forma de entender la naturaleza de la materia y del calor, de acuerdo por tanto con la teoría cinético-molecular, es la que responde al fenómeno mostrado en la superficie de contacto de dicho sistema

(líquido/vapor) donde las partículas excepcionalmente veloces escapan del líquido para pasar a vapor (evaporación) y las del vapor al acercarse al líquido son captadas por éste (condensación), llegándose a un estado de equilibrio entre las entradas y las salidas. Las observaciones y mediciones empíricas sobre la variación de la presión de vapor de un líquido con la temperatura y la curva de presión de vapor-temperatura para diferentes líquidos entre los cuales estaba el agua, había sido realizada desde 1707, PAPIN sucediéndose los trabajos de WATT, SCHMIDT, DALTON, GAY-LUSSAC, BIOT, DUCONG, ARAGO y las decisivas aportaciones de REGNAULT en 1848 (PRELAT 1951 p.129-32). Las experiencias en el sistema líquido-vapor centradas en los procesos de cambios de estado de la materia (procesos de evaporación y condensación) llegan a encontrar en la teoría cinético-molecular una justificación válida de igual modo que la había encontrado el calor, el calor latente o los fenómenos relativos al calor en general: así mismo los fenómenos de los cambios de estado encuentran un marco de leyes inscrito en el resto de las leyes obtenidas respecto al calor entre los cuales se encuentra el primer principio de la termodinámica, representando los cambios de estado y la noción asociada de calor latente formas particulares que ejemplifican la ley de conservación de la energía.

Con esta trilogía de ideas desarrolladas en el S.XIX en relación al calor se prestó una ayuda vital al avance de la Ciencia Física. Los conceptos desarrollados mantenían una indudable conexión con la actividad técnica industrial pero pronto habrían de encontrar también aplicación en el estudio de la atmósfera. Si, con las nociones desarrolladas en torno a la presión (TORRICELLI, PASCAL, BOYLE, etc...) se llegó, según veremos, a inferir la existencia de la atmósfera, tal cual, así como su consistencia física, con las nociones referentes al calor (al movimiento y también a la presión) se hace posible, como analizaremos en un próximo apartado, entender que esa atmósfera es dinámica y su dinamismo por un lado deviene del calor interno que posee (procedente de la radiación solar) plasmándose, por otro lado, en una serie de procesos atmosféricos ahora definitivamente entendidos como procesos físicos, regulados por leyes métricas.

Los hallazgos sobre el fenómeno del calor y de la presión que hemos visto constituyeron importantes contribuciones a las ciencias físicas (y con posterioridad al estudio científico de la atmósfera). Un tercer aspecto vino a sumarse a los anteriores: <u>el movimiento</u>.

Las nociones a este respecto se desarrollaron fundamentalmente en el S.XVII, con NEWTON aunque anteriormente a él los trabajos de KEPLER, GALILEO, TORRICELLI, DESCARTES, HUYGENS, LEIBNIZ, etc...prepararon el camino a las sólidas y revolucionarias ideas newtonianas.

Lo que NEWTON consiguió fue establecer las leyes sobre el movimiento con validez universal haciendo de la ley de gravitación el sustento explicativo del sistema del mundo: las experiencias y las conclusiones sobre el movimiento de los cuerpos en las Tierra obtenidas por GALILEO con anterioridad eran aplicables exclusivamente a los cuerpos terrestres, y las leyes del movimiento planetario de KEPLER eran aplicables sólo a los planetas, sin embargo las leyes de NEWTON "...son aplicables a todos los cuerpos, a los cuerpos celestes y a los cuerpos terrestres. Las leyes de NEWTON englobaban las leyes de KEPLER y las conclusiones de GALILEO..." (I.NALEH 1974 p.113): por ello hablamos de validez universal: los fenómenos del movimiento en la Tierra y el movimiento en el sistema solar son combinados en un contexto perfectamente integrado por NEWTON, y a ese contexto debemos acudir para señalar las fuentes conceptuales de las que beberán los modernos proyectos científicos centrados en la Atmósfera a la hora de intentar entender y explicar un fenómeno tán particular e importante en ésta cual es su movilidad, su dinámica, los desplazamientos del aire.

NEWTON llevó a cabo una de sus obras fundamentales Philosophiae Naturalis Principis Mathematica totalmente imbuido en el nuevo espíritu científico, haciendo uso del método físico y cuantitativo (BERNAL 1967 P.369). El esquema de NEWTON se centró por un lado en la formulación de conceptos tales como los de velocidad, aceleración, fuerza, masa (o inercia), sistema de referencia, etc... a través de sus tres leyes sobre el movimiento que, junto con una introducción al movimiento de rotación, constituyeron la parte fundamental de sus trabajos de cinemática; se centró por otro lado en la ley de gravitación universal a través de la cual desarrolló la hipótesis de la existencia de una fuerza entre cualesquiera dos cuerpos que tengan masa: las leyes del movimiento y la ley de gravitación universal fueron decisivas aportaciones para el desarrollo de la física moderna, concretamente para el desarrollo de la dinámica, parte de la mecánica que versa sobre los efectos de las fuerzas sobre los cuerpos móviles (HOLTON 1983 p.140).

La dinámica de NEWTON fue una herramienta físico-matemática de indudable valor para el planteamiento y la resolución adecuada de ciertos aspectos entre los cuales destacan aquellos referidos a la Astronomía, aunque no fuesen estos los únicos pues, como antes hemos dicho, las leyes de NEWTON tuvieron alcance universal; un caso particular de movimiento de especial interés para nosotros, el del aire en la atmósfera pudo ser en su momento concebido y correctamente analizado y expresado, bajo estos nuevos presupuestos: "...el punto de partida de toda discusión de la relación de fuerzas y movimientos -dice S.PETTERSSEN en su Introducción a la Meteorología- es la segunda ley de NEWTON...".

Los movimientos del aire podrán ser planteados ante todo como desplazamientos llevados a cabo en relación a un sistema de referencia, la superficie terrestre, que se encuentra a su vez en movimiento pues participa de la rotación del Planeta empíricamente demostrada con posterioridad por FOUCAULT mediante el péndulo: de tal modo "...el conjunto de la atmósfera sigue a la tierra en sus movimientos a través del espacio, gira asímismo con ella de Oeste a Este, de suerte que en el Ecuador el aire se mueve hacia el Este a una velocidad de más de 1660 km/h,mientras que (...) la velocidad en dirección este es cero (...) Como el suelo se mueve a la misma velociodad tales movimientos pasan inadvertidos para el observador terrestre (...) Según la primera ley de NEWTON, para que un cuerpo modifique su estado de movimiento tiene que actuar sobre él una fuerza no contrarrestada. Hay dos clases de fuerzas -dice entonces ALBERT MILLER- que actúan en la atmósfera: 1) las que existen independientemente de los movimientos del aire, y 2) las que surgen solamente después del movimiento..." (MILLER, 1972 p.65).

Sólo tras aplicar los planteamientos de NEWTON sobre el movimiento en general al contexto particular de la atmósfera, el entendimiento de los desplazamientos del aire adquiere una dimensión plenamente física y matemática: tal desplazamiento del aire será entonces entendido como una aceleración (o desaceleración) en relación al movimiento que mantiene el conjunto de la atmósfera paralelo al de la superficie del Planeta, aceleración ésta, ada por la actuación de una fuerza (*) y que plantea la

---

(*)Sobre la capa del aire atmosférico inciden en principio dos fuerzas: una, la gravedad, que actúa siempre verticalmente hacia abajo y otra, la presión, que puede actuar en cualquier dirección aunque suele ser casi siempre también vertical hacia arriba: gravedad y presión son dos fuerzas prácticamente contrapuestas. No obstante presión, densidad y temperatura son tres variables íntimamente conectadas: el aire frío es más denso que el cálido y el gradiente de presión en aire denso es mayor que en aire cálido: de tal modo el caldeamiento desigual de un plano horizontal induce densidades de aire distintas y planos isobáricos inclinados respecto a dicho plano horizontal. Tal inclinación induce una cierta componente horizontal en la fuerza que ejerce el gradiente de presión sobre el aire dirigida desde el aire denso y frío (alta presión) al aire cálido (baja presión) en superficie y viceversa en altura. Como la fuerza de gravedad se ejerce en sentido exclusivamente vertical, esta componente horizontal del gradiente de presión no se encuentra contrarrestada y está en condiciones de inducir una aceleración en el aire en movimiento. Esta idea ha subyacido en los primitivos intentos de explicación de la circulación general atmosférica que hoy podríamos denominar circulación térmica producida entre el Ecuador y el Polo.

intervención de otro tipo de fuerzas una vez que el aire se encuentra desplazándose (*).

No obstante la aplicación de los planteamientos de NEWTON sobre el movimiento del entorno atmosférico requerirá un período de tiempo dilatado que constituye el esbozo de los proyectos científicos centrados en la atmósfera: S.XVII - XIX. Las realizaciones tempranas de este período, tales como las de HALLEY, personalidad según BERNAL muy conectada con los trabajos de NEWTON y amigo personal suyo (BERNAL. 1967 p.369-70) o las realizaciones de HADLEY, debieron sufrir la incomprensión y el olvido de su época. Sin embargo "...la influencia aristotélica, que había dominado la ciencia por 2000 años, cedió ante la física newtoniana. El hundimiento fue completo y súbito. Por ejemplo, en 1648 la Real Sociedad escuchó un artículo, que explicaba los alisios como "el aliento constante" de las algas de los argazos; y 50 años después HADLEY describía los alisios como circulaciones impulsadas térmicamente y modificadas por la rotación de la tierra..." (PETTERSSEN,S. 1976 p.19-20).

## II.2.LA CONSIDERACION DE LOS HECHOS CLIMATICOS EN EL CONTEXTO GENERAL DE LA EDAD MODERNA.

Al mismo tiempo que tienen lugar en este contexto de la Nueva Ciencia estas realizaciones, se produce paulatinamente un tropo en el significado del término clima. "Clima" empieza a adoptar una nueva acepción sensiblemente alejada de su sentido primitivo (geo-astronómica) y próxima a unos contenidos de franca connotación ambiental, totalmente inéditos: por clima empieza a entenderse el temperamento de un lugar y, especialmente, sus condiciones de calor o frío. La evolución semántica que dió luz a esa nueva acepción del término clima pudo tener su origen en la asociación que, desde la Antigüedad y la Edad Media, se hace entre la latitud y la distribución del calor: asociación tán repetida como manifiesta o evidente que, sin duda, sugirió a partir de una fecha que desconocemos una misma denomicación tanto para la consecuencia térmica de la inclinación superficial terrestre como para el hecho que la produce, dando lugar de este

---

(*)Tal es el caso de la fuerza expresada matemáticamente por CORIOLIS y que hoy se conoce con su nombre, junto a ella están la de rozamiento, la de conservación del movimiento giratorio, etc...

moco a una metonimia (*).

Los comentarios de SOLIS, que nos evocan las consideraciones hipocráticas sobre la influencia de las condiciones ambientales del medio (calor y humedad) en la salud del hombre, indican efectivamente que el término clima designa, por lo menos desde este texto (y posiblemente antes), un orden de realidades nuevo: clima ya no hace referencia sólo a hechos astronómicos, además alude a fenómenos naturales, intrínsecos al planeta, y estrictamente físicos.

A pesar de todo lo dicho, la cuestión de la configuración de estos nuevos significados en el término clima presenta a nuestro entender dos aspectos bien diferenciados: el primero es el hecho de la aparición, sea en castellano o en cualquier otra lengua, de la nueva acepción del término clima; el segundo es el hecho de la generalización de ese uso inédito del término que hace referencia al temperamento de un lugar o una región.

La formulación inicial en diversas comunidades lingüísticas de este tropo (esté motivada o nó por las constantes observaciones de la asociación entre la latitud y el calor) ciertamente se constituyó en casos excepcionales, más o menos aislados, hasta determinada fecha. Precisamente por esta razón no debe extrañarnos que los diccionarios anteriores a esa fecha determinada, tales como el de COBARRUBIAS o el Diccionario de Autoridades,

---

(*)La aceptación, digamos oficial, del nuevo uso del término clima (para hacer referencia al temperamento) en castellano debe aguardar como mínimo hasta el S.XVIII cuando es recogida por el Diccionario de Autoridades (1726) que alude indirectamente a la utilización del término hecho por ANTONIO DE SOLIS en su Historia de la conquista, población y progreso de la América Septentrional conocida por el nombre de Nueva España (1648). SOLIS, cuando aborda la descripción de Méjico y, más concretamente, lo que él denomina su "temperamento y situación" nos dice: "...En el medio casi de esta laguna salobre tenía su asiento la ciudad cuya situación se apartaba de la línea equinocial hacia el Norte diez y nueve grados y trece minutos dentro aún de la Tórrida Zona, que imaginaron de fuego habitable los filósofos antiguos, para que aprendiese nuestra experiencia cúan poco se puede fiar de la humana sabiduría en todas aquellas noticias que no entran por los sentidos a desengañar el entendimiento. Era su clima benigno y saludable, donde se dejaban conocer a su tiempo el frío y el calor, ambos con modesta intensión; y la humedad, que por la naturaleza del sitio pudiera ofender a la salud, estaba corregida con el favor de los vientos, o morigerada con el beneficio del sol..." (1970 p.189).

S.XVII y principios del XVIII respectivamente, no recojan expresamente la definición de la acepción ambiental de clima pues, aunque yá se había empleado, sin embargo su uso no estaba generalizado aún. Durante este periodo, la utilización del término clima con este sentido ambiental se puede entender y explicar básicamente con argumentos exclusivamente lingüísticos, pues los tropos (para nosotros se trata concretamente de una metonimia) son fenómenos de evolución semántica bastante frecuentes (*).

Esta constatación de que el uso del nuevo significado del término clima no se correspondiera desde un primer momento con el uso generalizado del mismo (por lo menos durante un periodo que puede hundir sus raices en la Edad Media, según la comunidad lingüística de que se trate, y prolongarse hasta finales del S.XVIII o principios del XIX) es el que nos ha sugerido precisamente que, el hecho de la generalización de la nueva acepción de clima (hasta llegar el punto en que clima evoca con mayor frecuencia los fenómeno ambientales que los contenidos a los que aludían las acepciones antiguas), pertenece, en realidad, a un contexto totalmente diferente del contexto en que se empleaba, pero de forma más aislada o excepcional: y los motivos que cieron lugar a dicha generalización, de sumo interés para nosotros, son también diferentes, de tal modo que escapan y sobrepasan el marco de las razones exclusivamente lingüísticas. La generalización de la acepción ambiental la trataremos en un próximo apartado dedicado a este otro contexto. De momento nos interesa evaluar la importancia que la consideración de los hechos climáticos tiene en este contexto histórico que media entre el periodo precientífico y el periodo decimonónico durante el que tiene lugar el despegue de los estudios sobre el Medio Natural.

Entretanto se producia la introducción del término clima con contenicos ambientales, las aportaciones de la Física en la Edad Moderna no sólo detentaron un papel funcamental para la concepción de la atmósfera y del tiempo atmosférico sino que, además, determinados aspectos concretos de la aplicación de los presupuestos de la Física Moderna a la interpretación del medio aéreo se plantearon y se abordaron en aquella época como cuestiones estrictamente climáticas (al menos desde el punto de vista actual) y, como tales, merecen ahora nuestra atención.

El ejemplo más notorio tal vez quede constituido por

---

(*)No yá otros términos de los muchos que caben aquí como ejemplo sino el mismo término clima sufrió ya en la Antigüedad un fenómeno de este tipo cuando pasó a incorporar, junto al primitivo sentido de inclinación, el sentido de banda latitudinal.

las yá aludidas concepciones de HALLEY sobre la circulación de los alisios en ambos hemisferios y sobre el monzón, o las aportaciones de HADLEY a la Circulación General Atmosférica, que sitúan unas cuestiones sobre las cuales se volverá en diversos períodos de las épocas Moderna y Contemporánea, iniciando así unos temas que serán desarrollados más tarde, incluso en el seno de la Climatología, hasta llegar a ocupar uno de los lugares centrales en esta disciplina. Las consideraciones sobre la circulación atmosférica se constituyen desde HALLEY en consideraciones sobre un hecho climático porque, como vimos, hasta determinada época de la Edad Contemporánea este problema fue concebido y abordado teniendo en cuenta los desplazamientos regulares o predominantes del aire, imaginando a éstos como movimientos reales: de tal modo la circulación atmosférica promediada estaba reputada como circulación atmosférica real, por lo menos hasta bien adentrado el S.XX.

Algunas de las elaboraciones sobre la circulación atmosférica tuvieron, a su vez, unas plasmaciones muy concretas que, igualmente, constituyen magníficos ejemplos de elaboración de hechos climáticos. La representación gráfica de los vientos que se desarrollan entre las latitudes 30º N. y 30º S. sobre los oceanos, llevada a cabo por HALLEY en su Philosophical transactions (1688), constituye sin lugar a dudas uno de los ejemplos más representativos de la Edad Moderna, esta cartografía no sólo evidencia la consideración del hecho climático sino, además, un tratamiento particular del mismo, un tratamiento que habría de tener gran éxito en la Climatología Contemporánea: la utilización del mapa: es una evidencia de la condición no sólo atmosférica sino, además, cartográfica y geográfica del hecho climático. Pero no sólo es éste un ejemplo representativo de la Edad Moderna; es, además, el más antiguo mapa climático del mundo. Esta opinión, recogida de CH.P.PEGUY (1970) entre otros, la hacemos igualmente nuestra.

Por tanto, en la aportación de HALLEY convergen yá la consideración explícita de la atmósfera y la consideración implícita de fenómenos climáticos tales como el monzón o el alisio. Sin embargo esta convergencia se inscribe, es justo reconocerlo, mirando desde nuestras perspectivas hacia el pasado pues la intencionalidad consciente de estas contribuciones de HALLEY estaba dirigida, exclusivamente, hacia el conocimiento de la atmósfera; lo que ocurre es que, a resulta de dicha intencionalidad, se llega al establecimiento de lo que hoy se puede denominar como hecho climático, aunque en aquella época no fuese catalogado ni conocido como tal; el monzón o el alisio eran, simplemente, fenómenos atmosféricos.

La Edad Moderna ofrece un tipo de consideraciones sobre hechos climáticos radicalmente diferente al que

acabamos de mencionar. Se trata de las alusiones a fenómenos climáticos a ambientes geográficos (en muchos casos denominados yá con el mismo término de Clima) que proliferaron con los descubrimientos y exploraciones de vastas regiones de nuestro globo.

La descripción que hace SOLIS del clima de México, constituye un caso típico de alusión a las concíciones de habitación, al ambiente, al temperamento de un punto concreto recientemente descubierto. Por poner otro ejemplo, en este caso de alusiones a fenómenos climáticos, nos referiremos a la "Declaración que de orden del Virrei del Perú D. Francisco de Borja, Príncipe de Esquilache, hizo, ante Escribano, TOME HERNANDEZ, de lo sucedido en las dos Poblaciones fundadas en el Estrecho de Magallanes por Pedro Sarmiento de Gamboa" (21-III-1620) donde se dá noticia, entre otros muchos aspectos locales, de circunstancias tales como la presencia de tormentas, la dirección de los vientos dominantes en determinadas épocas del año, las concíciones de calor y de frío en el periodo estival y en el invernal, etc... Similares son las referencias climáticas dadas por DIEGO DE LANDA en su Relación de las cosas de Yucatán.

Más llamativas pueden resultar, sin embargo, las alusiones llevadas a cabo en los primeros viajes al Nuevo Continente. Concretamente las realizadas por CRISTOBAL COLON y AMERICO VESPUCIO que, en determinados casos, establecen notables paranqones espaciales de los climas que constituyen precedentes lejanos de lo que HUMBOLDT denominará Climatología Comparada (1874 T.I p.301). Seleccionamos a continuación algunos textos representativos: en algunos de ellos se establecen comparaciones entre continentes, también entre fachadas Orientales y Occidentales de los océanos (del Atlántico, concretamente), en otros comparaciones entre el Hemisferio Norte y el Sur:

"...En cuanto a la opinión de que yo he dicho que la gente en aquella tierra es blanca y no negra y máxime aquellos que habitan dentro de la zona tórrica, es respondo, salvo el honor de la filosofía, que no es preciso que todos los hombres que habitan en la tórrica deban ser negros por naturaleza y de sangre quemada, como son los etíopes (...), porque como antes he dicho, yo he navegado por todos los paralelos que hay desde Marruecos hasta el fin de Etiopía y pasado la línea equinocial 32 grados hacia el rostro y he estado en muchas partes de Africa y Etiopía, en el Cabo de Catim, en el Cabo de Anghila, en Zanaga, en el Cabo Verde, en Rio Grande, en Sierra Leona, unida a línea equinocial en 7 grados, y visto y hablado con infinita gente y todas son de color negro, pero más en un lugar que en otro. Y si bien este conocimiento pertenece al filósofo, no dejaré de decir mi parecer, sea bien o mal recibido. Encuentro que la causa principalísi-

ma procede de la compresión del aire y disposición de la tierra, porque toda la tierra de Etiopía esta muy despoblada, de agua dulce hay escasez, y pocas veces llueve y el terreno muy arenoso y abrasado por el calor del sol y hay infinitos desiertos arenosos y poquísimos bosques o selvas y los vientos que en aquel paraje reinan son el levante y el siroco, que son vientos calientes; también porque la naturaleza ha convertido en hábito su negrura y esto lo vemos en nuestra parte: que los negros engendran negros y si un blanco husa con una negra la ciratura será parda, esto es menos negra que la madre y menos blanca que el padre, y así por el contrario: señal es que la naturaleza y la costumbre obran con mas fuerza que la comprensión del aire y de la tierra, de modo que concluyo que he encontrado en el mismo paraje de la antedicha tierra de Africa y de Etiopía, o para más rectamente decir en los mismos paralelos, es muchos más amena y templada -dice A.VESPUCIO refiriéndose al Nuevo Continente- y de mejor comprensión, es la causa de ser la gente blanca, si bien tirando al pelaje del león, porque como digo, en aquella parte el aire es más templado que el de Etioía, y la tierra mucho más amena y abundante de agua dulce y casi todos los días es visitado por el rocío. Los vientos son australes y septentrionales, de modo que en aquella parte no hay tan ardientes calores como en Etiopía y la tierra es causa de los vientos y de los rocíos que siempre mantienen los árboles verdes y con hojas; y esto es cierto y el que no lo crea que vaya verlo como lo he hecho yo. Son tantas las selvas y bosques de aquella parte, con árboles grandísimos y siempre verdes y distintos de estos nuestros, que es cosa admirable, y la mayor parte dan de sí o licores o goma o vinagres y son aromáticos. Podría en esta materia extenderme mucho más y alegar la oposición de la vía del sol o las fuerzas de los cuerpos de las estrellas de la octava esfera, que en aquella parte reinan, y ésto por acortar razones dejaré a la discreción de los prudentes..." (VESPUCIO, A. 1983 p.37-38).

CRISTOBAL COLON en su viaje hacia lo que él consideraba las Indias (el extremo Oriente) también realiza una serie de observaciones muy interesantes para nosotros. Estas fueron recogidas por el mismo HUMBOLDT quién destaca el conocimiento físico de la tierra que encierra especialmente en lo relativo a la flexión de las líneas isotermas desde las costas occidentales del antiguo continente hasta las costas orientales del nuevo (HUMBOLDT 1874 T.II parte segunda p.273), aunque también él mismo afirma que las conclusiones de COLON sobre la flexión de las isotermas en el Atlántico fueron una conjetura precoz sólo verdadera si se limitan a la zona templada y fría de nuestro globo (HUMBOLDT 1874 T.II parte segunda p.449) "...Agora vi tanta disformidad como ya dixe -dice COLON en 1498-: y por esto me puse a tener esto del mundo, y fallé que no era redonde en la forma que escriben, salvo

que es de la forma de una pera que sea toda muy redonda, salvo allí donde tiene el peçón que allí tiene más alto, o como quien tiene una pelota muy redonda y en un lugar de ella fuesse como una teta de muger allí puesta, y qu'esta parte de este peçón sea la más alta e más propinca al cielo, y sea debaxo la linea equinoçial, y en esta mar Ocçéana, en fin del Oriente (llamo yo fin de Oriente adonde acaba toda la tierra e islas). E para esto allego todas las razones sobreescriptas de la raya que para el Occidente de las islas de la Açores cient leguas de Septentrión en Austro, que en passando de allí al Poniente, ya van los navíos alçándose hacia el cielo suavemente, y entonçes se goza de mas suave temperançia y se muda el aguja de marear..." (COLON 1982 p.213). Esta variación de las temperaturas se explicita en otro texto íntimamente conectado con el anterior: "...Cuando yo navegué d'España a las Indias, fallo luego, en pasando cient leguas a Poniente de las Açores, grandíssimo mudamiento en el cielo en las estrellas y en la temperancia del aire y en las aguas del mar, y en esto e tenido mucha diligencia en la experiencia. Fallo que de Septentrión en Abstro, passando las dichas cient leguas de las dichas islas, que luego en las agujas de marear, que fasta entonces nordesteavan, norvestean una cuarta de viento todo entero, y esto es en allegando allí aquella línea, como quien traspone una cuesta; y asimesmo fallo la mar toda llena de yerva -dice COLON aludiendo al mar de los Sargazos- de una calidad que pareçe ramitos de pino y muy cargada de fruta como de lantisco; y es tan expressa, que al primer viaje pense que era baxo e que daría en seco con los navíos, y hasta llegar con esta raya no se falla un solo ramito. Fallo también, en llegando allí, la mar muy suave y llana, y bien que ventee rezio, nunca se levanta. Asimesmo hallo dentro de la dicha raya, hazia Poniente, la temperançia del cielo muy suave y no discrepa de la cantidad, quier sea invierno, quier sea en verano..." (COLON 1982 p.211-2).

La importancia de estos viajes para el incipiente conocimiento del clima en nuestro Planeta también se aprecia en la siguiente relación de A.VESPUCIO donde plantea las diferencias estacionales que presenta el calor en uno y otro hemisferio: "...Ya os he dicho cómo en aquel hemisferio acaece con las 4 estaciones lo contrario que en este nuestro, porque el sol entrando en el primer grado de Aries, que entre nosotros es primavera, para ellos es otoño; y cuando el sol está en Cáncer para nosotros es verano y para ellos invierno; y así por consiguiente con Libra y con Capricornio. Pues el mayor día que en aquella parte tuvo, fue un 2 de diciembre y por el contrario la noche más larga un 2 de junio. Y esto infinitas veces fue observado por mí con todos mis instrumentos. Vos dais una razón para demostrar que aquella parte es fría al decir que el sol cuando se encuentra en el primer punto de Cáncer, que ellos tienen la línea más

lejana, y esto es falso pues bien sabes que, según las demostraciones matemáticas, el sol tiene dos puntos en su círculo diferentes, que uno se llama apogeo y el otro opósito apogeo; y cuando el sol esta en su apogeo, que es según mi entender en los 3 grados de Cáncer, que en tal estación está más distante con su línea de la tierra que en otra. Y por consiguiente debería causar el aire más frío para nosotros y observamos lo contrario: que en aquella estación tenemos el calor más intenso; pero todo lo ocasiona que en tal tiempo se aproxima más a nuestro cenit y lanza sus rayos más perpendiculares, por lo cual llegan más pronto a disipar los vapores densos elevados en la región del aire, de modo que por esta razón diremos que como el sol estando en el primero de Cáncer y que estará para aquellos del hemisferio en la línea más transversal de manera que con respecto a nosotros en aquella región, en dicho tiempo, habrá tanto frío como nos hace a nosotros el sol cuando está en el opósito apogeo, que es cerca de los 3 grados de Capricornio que está para nosotros en su máxima declinación y las líneas más transversales nos hieren y no tienen tanta fuerza como para consumir los vapores elevados como oocurre a aquellas del otro hemisferio. Y otras muchas infinitas razones podría daros pero estas por ahora bastan..." (VESPUCIO,A 1983 p.38-39).

Como puede apreciarse, este tipo de consideraciones sobre hechos climáticos se encuadra fundamentalmente en el contexto del desarrollo de la navegación y el comercio durante la Edad Moderna. La exploración de las Nuevas Tierras y de espacios poco conocidos trajo aparejado el conocimiento de estas regiones lejanas a través de las noticias y descripciones traidas por los conquistadores del Nuevo Continente, los cronistas, los viajeros, los mismos comerciantes e incluso los misioneros. Dicho conocimiento (muy general y poco sistemático) incorporó frecuentemente estas alusiones a ciertos hechos climáticos locales y al ambiente o temperamento de las regiones visitadas; como hemos visto a través de los ejemplos se trataba de simples descripciones, incompletas e imperfectas, obtenidas, por lo general, de impresiones subjetivas. A pesar de esto sería injusto valorar negativamente la contribución de este aspecto de la Edad Moderna, relacionado con el desarrollo de los viajes; aunque las informaciones sobre las tierras visitadas eran muy diversas, incompletas y poco sistemáticas, ésta era la primera ocasión en la historia del conocimiento de la Tierra en que se tenía, simultáneamente, noticias de lugares del Globo tan lejanos como Africa, América o Asia; sólo faltaba que surgiera la preocupación por llevar a cabo una descripción sistemática que pusiera orden en la maraña de noticias recopiladas de los puntos más diversos del Planeta, tal que facilitase no sólo un conocimiento amplio, global, sino también eficaz.

Este es un aspecto importante de la Edad Moderna, igual que también lo es el tipo de elaboraciones que hemos ejemplificado en la personalidad de HALLEY. Pero, desde nuestro punto de vista la Edad Moderna es destacable más por la preparción de una serie de elementos indispensables para la posterior gestación y desarrollo de consideraciones sobre hechos climáticos en el seno de la Climatología Contemporánea que por el cúmulo de realizaciones sobre el clima de este período.

En este sentido, el hecho del incipiente conocimiento del Globo que comienza desde los inicios de la Edad Moderna acompañado del desarrollo de la navegación y del comercio, por un lado, y las perspectivas abiertas por la Nueva Ciencia y, dentro de ella, los planteamientos generales de la Física Moderna así como las aportaciones de la Física al conocimiento del medio aéreo, por otro lado, son dos aspectos singulares y noveles de la Modernidad cuya trascendencia va más allá de este período pués prefiguran una serie de novedades en posteriores consideraciones sobre hechos climáticos responsables de una profunda ruptura con todo lo anterior: es decir, una ruptura con la Antigüedad, con el medievo e, incluso, con la misma Edad Moderna.

Debemos reconocer, aunque las elaboraciones concretas de HALLEY o las de los exploradores y viajeros cayesen en el olvido, que el contexto de donde surgieron no sólo no pasó inadvertido sino que influyó decisivamente en la Edad Contemporánea tanto en cuanto constituyó una plataforma válida e indispensable que nutrió con sus realizaciones y fundamentos el quehacer de la Climatología.

"...Desde el punto de vista histórico -dicen R.ARLERY, H.GRISOLLET y B.GUILMET- no es posible precisar a partir de qué época la ciencia que llamamos en nuestros días Climatología se ha desgajado netamente del conjunto de los conocimientos meteorológicos e, incluso, más generalmente, de los conocimientos físicos. El período de los orígenes -que según estos autores llega hasta el S.XVI- (...) está desprovisto de todo carácter científico. (...) Sin embargo, desde el S.XVII, se dibuja una evolución, estimulada por los grandes descubrimientos geográficos de finales del Siglo XV, la salida a la luz de importantes leyes físicas y, sobre todo, la aparición de los aparatos de medida termómetro, barométro, pluviómetro, etc...) que permite a los conocimientos puramente descriptivos comenzar a enriquecerse de este modo con los datos numéricos recogidos por observadores aislados..." (ARLERY, y otros 1973 p.4).

## III. EL CONTEXTO DE LA APLICACION DE LOS PRESUPUESTOS DE LA NUEVA CIENCIA Y DE LA FISICA MODERNA A LA INTERPRETACION EXPLICITA DEL AMBITO AEREO. EL DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS MODERNOS DE ATMOSFERA Y TIEMPO ATMOSFERICO

El paso de la actitud filosófica, cualitativa y general (propia del "logos" antiguo) a las perspectivas científicas, cuantitativas y particulares (propias de la Ciencia Moderna) trajo aparejado consigo un cambio sustancial en el conocimiento, en la consideración y en el tratamiento del medio natural y, más concretamente, en el conocimiento, consideración y tratamiento de aquel "contexto situado por encima de la superficie del suelo" que había sido atendido por el pensamiento griego a través de la antigua Meteorología. Dicho cambio, es preciso repetirlo ahora, constituye un motivo de especial interés para nosotros que nos preocupamos por establecer las bases del planteamiento del clima como aproximación al tiempo atmosférico, pués fué el inductor de la formulación de la atmósfera como un objeto de estudio nuevo sin el cual ni el concepto de clima ni el concepto de tiempo atmosférico podrían haberse generado como los conocemos hoy.

La Ciencia Nueva y, en particular, la Física Moderna no sólo definieron los contenidos sino que, además, explicitaron los métodos del estudio. Y, efectivamente, la aproximación al conocimiento científico del medio aéreo constituyó un proyecto de trabajo que, inexcusablemente, hubo de llevarse a cabo bajo dos premisas, las cuales posibilitaron la ruptura con lo anterior (fundamentalmente con la Antigüedad) y fueron un punto de partida para el planteamiento del contexto aerológico en la posteridad:

-En primer lugar, **la concepción física de ese ámbito aéreo y de sus procesos y fenómenos internos.** En un apartado anterior nos hemos dedicado a abordar de manera sucinta y puntual ciertos avances de la Física durante los S.XVI-XIX: sin duda la contemplación del medio aéreo tomó una orientación radicalmente distinta cuando se hizo de él un objeto de análisis acorde con estos avances, y ello se logró con la consideración del aire (de "eso que respiramos") según se decía en aquella época) como un gas; este simple proceso de abstracción fué lo que permitió hacer extensible el saber y el proceder de la Nueva Ciencia al contexto aerológico, y la plasmación concreta de esto fué el estudio del aire en el mismo sentido que se había llevado a cabo con los gases en el laboratorio, es decir, a través de las observaciones empíricas y analíticas de sus propiedades.

Bajo estas perspectivas nuevas, el ámbito aéreo yá pasó a constituir un objeto de estudio expreso e inédito: "expreso" porque el objetivo esencial quedaría, por primera vez, centrado en el conocimiento preciso, único y exclusivo del mismo; "inédito" por el aspecto formal con que dicho estudio fue concebido y abordado: totalmente imbuido, como hemos dicho, en el espíritu de la Nueva Ciencia y de la Física Moderna, lo cual supuso centrar el tema en torno a las propiedades físicas que el aire, como gas, posee, definirlas cuantitativamente por unos parámetros físicos y entenderlas como manifestaciones del propio aire ante la actividad solar, la gravitación terrestre y su propia dinámica.

-La segunda premisa queda constituida por **el uso de los instrumentos que permitían acceder al exámen directo, analítico, objetivo y métrico de las propiedades físicas del aire** que previamente había hallado y definido la Física Moderna para los gases en general: el acto empírico de la observación del aire libre por medio de los instrumentos adecuados ofrecerá una base práctica para la aproximación al conocimiento científico del medio aerológico y será una base más sólida cuanto más extendidas en el espacio y más prolongadas en el tiempo sean dichas observaciones.

De este modo, los progresos efectuados en el conocimiento del ámbito aéreo durante la Edad Moderna y Contemporánea tuvieron dos direcciones: una teórica, la concepción física del mismo y de sus fenómenos y procesos internos; otra pragmática, la medición de los parámetros físicos que el aire, como gas sujeto a la acción del sol y la gravitación, manifestaba. La interpretación del ámbito aerológico bajo estas dos premisas (acorde con las ideas de la Física Moderna y con el espíritu de la observación directa, analítica, objetiva y métrica) sería un paso fundamental en el conocimiento del mismo y, tal vez, el avance más decisivo desde que EMPEDOCLES, en el S.V a.c., demostró su consistencia corpórea pasando a formar el cuarto de los elementos, o desde que ARISTOTELES llevara a cabo su Meteorología.

Estos progresos constituidos en el contexto de la aplicación de los presupuestos de la Nueva Ciencia y de la Física Moderna a la interpretación explícita del ámbito aéreo hicieron de él, por un lado, un espacio bien definido y singular en la Naturaleza, recogido por la moderna noción de atmósfera y, por otro lado, un ámbito donde tenían cabida y explicación diversos fenómenos de suma trascendencia para la vida en el Planeta, los fenómenos atmosféricos, ahora contemplados e interpretados como consecuencias del estado de la atmósfera, responsable directo del tiempo atmosférico.

Bajo el sustento de las nuevas nociones (atmósfera,

estado de la atmósfera, tiempo atmosférico) se construyeron los conceptos contemporáneos de meteoro y clima, sustancialmente distintos al antiguo "meteoro" y al "klima" astronómico. Es, exclusivamente, sobre estas nociones modernas sobre las que, como sabemos, se desarrollarán las disciplinas contemporáneas de la Climatología y la Meteorología. Con la remisión del clima y los meteoros al contexto atmosférico y el cambio de significado que ello comporta para ambos términos, se había consumado un giro que abría amplias perspectivas. Debemos ahora reconocer que la concepción de la atmósfera fué la llave que dió apertura a los planteamientos del clima en conexión con el tiempo atmosférico.

Puestas las bases para llevar a cabo en el futuro estos planteamientos, sin embargo, aún restaba un largo recorrido hasta la actualidad: el desarrollo del conocimiento científico de ese ámbito recientemente definido (la atmósfera). Significativamente, ese largo recorrido se hará también alumbrado por las concepciones de la Nueva Ciencia y, más particularmente, de la Física Moderna y Contemporánea, y tendrá a su cargo dos tareas tán importantes como difíciles: una, la formulación de leyes físicas propiamente atmosféricas (que en los inicios serán, más que leyes, descripciones de fenómenos atmosféricos más o menos complejos); otra la elaboración de observaciones atmosféricas sobre las que fundamentarse.

Creemos que es ahora oportuno desarrollar la primera de las dos premisas anteriormente aludidas a través de dos apartados: la concepción de la atmósfera y la concepción del tiempo atmosférico.

## III.1. LA CONCEPCION DE LA ATMOSFERA A PARTIR DE SU DEFINICION FISICA.

La primera plasmación conceptual en la aproximación, desde las perspectivas de la Física Moderna, al conocimiento del contexto aéreo fué la definición del espacio gaseoso interpuesta entre la Tierra y el espacio etéreo.

La ley del equilibrio hidrostático de PASCAL aplicada al ámbito aéreo permitió, según vimos antes, deducir lo que, de forma expresiva, se denominó "mar de aire". A través de la conjunción de las leyes del equilibrio hidrostático, que rige para los fluidos en general, y la ley de BOYLE-MARIOTTE, que ajusta las características hidrostáticas a la cualidad elástica propia de los gases, se pudo lograr con LAPLACE la rigurosa deducción de la relación presión-altura explícitamente referida a la atmósfera, aunque ya dijimos que HALLEY había llevado a cabo aproximaciones que apuntaban en el mismo sentido e igualmente remitidas a la envoltura gaseosa del Planeta, un siglo antes que LAPLACE.

Presiones a diferentes altitudes calculadas según la fórmula rigurosa de LAPLACE.

| Altitud en metros | Presión en mm de mercurio | Disminución de la presión por cada 1000 mts de altit |
|---|---|---|
| 0 | 760 | 86 |
| 1000 | 674 | 78 |
| 2000 | 596 | 71 |
| 3000 | 525 | 64 |
| 4000 | 461 | 58 |
| 5000 | 403 | 51 |
| 6000 | 352 | 46 |
| 7000 | 306 | 40 |
| 8000 | 266 | 36 |
| 9000 | 230 | 32 |
| 10000 | 198 | 28 |
| 11000 | 170 | 24 |
| 12000 | 146 | 18'8 |
| 15000 | 89'7 | 9'7 |
| 20000 | 41 | 3'2 |
| 30000 | 8'6 | |

(Ver ANDRE VIAUT 1981 p.21)

Las aportaciones de HALLEY y de LAPLACE pueden, sin lugar a dudas, considerarse como un precedente de la posterior formulación de la atmósfera estándar o atmósfera tipo, donde se incluyen además de la conexión entre altura y presión, la temperatura y la densidad, precisamente los elementos que intervienen en la ecuación de estado de los gases basada en la ley de BOYLE-MARIOTTE introduciendo, además, el número de ABOGADRO y la temperatura. Estas aportaciones de HALLEY y de LAPLACE no deben, en modo alguno, ser menospreciadas pues, a pesar de que la atmósfera tipo pueda parecernos una simple descripción, constituye, no obstante, una referencia básica, un punto de partida sobre el que se desarrollará el análisis del estado real de la atmósfera; como explica M.MEDINA (1976 p.33) **"...la atmósfera tipo es un estado ideal de equilibrio, hacia el cual tiende la atmósfera real, pero que nunca alcanzará mientras que siga recibiendo energía exterior..."**. Estos tres hechos: energía exterior, atmósfera real y atmósfera tipo, plantean nada más y nada menos que uno de los pilares básicos de la dinámica atmosférica.

| ALTITUD(mts) | PRESION(mb) | TEMPERATURA(C) | DENSIDAD(kg/m3) |
|---|---|---|---|
| 0 | 1013,25 | 15,0 | 1,2255 |
| 1000 | 898,8 | 8,5 | 1,1120 |
| 5000 | 540,4 | -17,5 | 0,7363 |
| 10000 | 265,0 | -50, | 0,4127 |
| 20000 | 55,3 | -55,0 | 0,0883 |
| 30000 | 12,0 | -55,0 | 0,0078 |
| 40000 | 2,7 | -3,7 | 0,0017 |

(Ver ALBERT MILLER 1972 p.165 y PERA.O;SCHNEIDER.H 1982 p.220)

Estos datos corresponden a una distribución teórica asumiendo que el aire no contiene humedad y constituye un gas perfecto que sigue las leyes de CHARLES y BOYLE: que la gravedad tiene un valor constante a cualquier altitud (de 980 m S -a) y la temperatura de la atmósfera es de 216,6 grados Kelvin.

"...ARISTOTELES conocía desde el año 2300 a.c la presencia de vapor de agua en el aire, no es menos cierto que la atmósfera no ha sido estudiada hasta el S.XVIII porque hasta entonces el aire estuvo considerado como un medio inmaterial (...) TORRICELLI gracias a su invención del barómetro, y luego PASCAL en 1648, probando con su memorable experimento del Puy de Dôme que el barómetro permite realmente 'pesar' la atmósfera, abrieron las puertas a los estudios meterológicos. Pero sólamente trás los trabajos de MARIOTTE, GAY-LUSSAC, LAVOISIER y LAPLACE, que aportaron las nociones de física y química indispensables, es cuando las investigaciones meteorológicas se desarrollan en realidad..." (VIAUT 1981 p.10). Concluyendo, los "útiles instrumentales" y los "útiles conceptuales" de TORRICELLI, PASCAL, BOYLE, etc...han permitido sustituir la "atmósfera sublunar" aristotélica por la "atmósfera tipo" deducida en primera instancia a partir de la consideración de una propiedad del aire y de un parámetro físico: la presion de 760 mm; y la Meteorología Antigua, cualitativa y general, ha evolucionado a la Meteorología Moderna, métrica y particular, centrada fundamentalmente sobre la envoltura gaseosa del Planeta y sobre los procesos físicos a ella asociados y los estados que manifiesta.

Con HALLEY y LAPLACE se abrieron las puertas de la actual concepción de la atmósfera constituyendo los alboores que inspiran el desarrollo de esas disciplinas completamente nuevas por sus fundamentos y por sus objetivos: la Meteorología Climatología. HALLEY y LAPLACE constituyeron el puente entre los que elaboraron esos "útiles conceptuales" e "instrumentales" (TORRICELLI, PASCAL, MARIOTTE, etc..) y los climatólogos y meteorólogos que hoy los utilizan, pués fueron estos dos grandes

astrónomos quienes, por primera vez, se preocuparon de hacer referencia explícita a la realidad atmosférica para su entendimiento como una realidad física.

Significativamente, con la concepción de la atmósfera no sólo se le encontró al contexto gaseoso del Planeta un ámbito espacial bien definido sino que, además, se advirtió en él un funcionamiento interno específico, una dinámica propia. En estos aspectos relativos no yá a la atmósfera sino a su dinámica (íntimamente vinculadas) también podemos mencionar a HALLEY aunque otros (de los que habla HUMBOLDT en su Cosmos) trataron yá del movimiento del aire del viento, pero sólo como resultado de la desigualdad de velocidad entre la rotación de la tierra y la de la atmósfera; esta explicación de GALILEO se aplica especialmente al alisio; o las aportaciones fundamentales de HOOKE en el S.XVII reconociendo la influencia de la rotación del globo y distinguiendo las corrientes de aire caliente y de aire frío superior la una que va del Ecuador a los Polos, inferior la otra que viene de los Polos al Ecuador.

El célebre científico de la Royal Society, HALLEY, no sólo realizó una aproximación al espacio aéreo desde los presupuestos de la Física planteando las relaciones presión-altura, también llegó a la concepción de ciertos procesos presenciables en ese espacio aéreo como realidades estrictamente físicas, igual que el contexto donde se desenvuelven por él concebido, la atmósfera: la descripción de HALLEY sobre los alisios o los monzones y su posterior explicación, acorde con la filosofía mecanicista de su época, está respaldada por nociones relacionadas con tres fenómenos físicos: 1)la incidencia de una energía exterior, solar, 2)la expansión térmica localizada del gas atmósferico, del aire, y 3)desequilibrio atmósferico originario de una aceleración resuelto en movimiento, viento, sea el alisio, sea el monzón (*).

Con HALLEY, por tanto, se inaugura la preocupación por la resolución de un problema que, en sus aspectos tanto globales como parciales, está aún por resolver: el

---

(*)Fué HALLEY, según PEDELABORDE, quién propuso la primera explicación del monzón asiático, fundamentándose en mecanismos térmicos superficiales (PEDELABORDE,P. 1970 p.11). También HALLEY elaboró la primera explicación del alisio en lo que se ha querido considerar como el primer intento de circulación general atmósferica, igualmente fundamentada en mecanismos térmicos superficiales: los alisios constituían para HALLEY circulaciones impulsadas térmicamente, convergentes hacia el Ecuador con movimientos N-S; la componente del E que se sumaba en ambos hemisferios era explicada diciendo que los vientos giran con el Sol, de Este a Oeste.

de la Circulación General Atmosférica, como dicen Mc.INTOSH y THOM (Mc INTOSH y THOM 1983 p.285), lo mismo que todos los viejos problemas de la Ciencia el de la Circulación General es difícil. Se esperaba que, cuando aumentasen las observaciones, se obtendría una explicación (SUTTON 1966 p.72), pero en realidad ha sucedido al contrario, es decir, se han planteado nuevas cuestiones.

Las concepciones sobre la Circulación General Atmósferica se han ido sucediendo desde HALLEY (junto a la evolución de la Física), cada vez con nuevas aportaciones plasmadas en modelos más o menos sencillos. Estos modelos han revelado una evolución de las ideas desde los planteamientos fundamentalmente térmicos a los planteamientos dinámicos de tal modo que el motor de la circulación, que la antigua teoría de la chimenea ecuatorial localizaba entre los Trópicos, pasa a localizarse algo después de la Segunda Guerra Mundial en las latitudes templadas y más concretamente en torno a la corriente en chorro aunque no sin ciertos problemas principalmente de interpretación de la misma.

Las ideas sobre la Circulación General también han sufrido con su evolución otro cambio, y no menos importante que el anterior, aunque en una cuestión de índole diferente: la cuestión de la permanencia del modelo concebido y la consideración del mismo como un sistema real; de las primitivas concepciones sobre la Circulación General Atmosférica que establecían modelos pretendidamente reales en los que se aseguraba su permanencia o, como mínimo, su regular periodicidad, de tal modo que la circulación general constituía poco menos que una realidad de carácter climatológico, se pasa a concepciones distintas en las que los aspectos climáticos de la circulación general, expresados en esquemas o modelos conscientemente ficticios, se constituyen a partir de la circulación real concebida como algo irrepetible.

**"...Las teorías -dice ALBENTOSA- sobre la circulación general formuladas por HALLEY (1686), HADLEY (1735) y FERREL (1856), basadas todas ellas en principios fundamentalmente térmicos, constituyeron los primeros intentos..."** (ALBENTOSA 1976 p.143).

Pero la Circulación General, con la redistribución de energía calorífica, momento cinético y vapor que opera, se llegará a entender bajo mecanismos que no son meridianos y contínuos, como pretendían los antiguos esquemas térmicos, sino que se lleva a cabo de forma discontínua en el espacio y en el tiempo por una circulación predominantemente zonal y ocasionalmente meridiana en donde la corriente en chorro, descubierta trás la Segunda Guerra, juega un papel principal (situaciones de bloqueo en la zona templada). La energía mecánica cobra gran protagonismo.

Las nuevas concepciones de ROSSBY produjeron, efectivamente, un importante y decisivo corte en estas ideas sobre la circulación general aunque trascienden a otros aspectos que son de especial interés para nosotros, y de los cuales JANSA expresa una opinión oportuna: "...Los primeros meteorólogos que trataron de este problema pretendían construir esquemas de circulación permanente, que si hubiesen tenido éxito le habrían resuelto con una fórmula única, válida tanto en el campo de la dinámica como en el de la Climatología; pero todas estas fórmulas fracasaron y hoy se ha llegado a la convicción de que ninguna solución estacionaria puede ser válida. Entonces la Meteorología y la Climatología se divorcian frente al problema de la circulación general (...) La Meteorología dinámica, y con ella la Sinóptica, se tiene que enfrentar con un tipo de circulación, la circulación real, que no se repite nunca; la Climatología trata de estudiar la circulación media, que goza de cierta permanencia y que, por consiguiente, puede describirse siguiendo las técnicas estadísticas habituales..." (JANSA 1969 p.266).

No obstante, los aspectos de la Climatología a los que trascienden las nuevas concepciones sobre la Circulación General Atmósferica la trataremos en un próximo apartado. De momento, concluir que tanto la concepción de la atmósfera como las concepciones sobre su funcionamiento han dimanado por un lado de la observación empírica: la observación del tubo de mercurio, la observación y la cartografía de los alisios, el descubrimiento de las corrientes en chorro, etc... pero por otro lado han proseguido o acompañado a dichas observaciones su planteamiento y resolución física; así a la observación del tubo de mercurio correspondió la interpretación física de la que se dedujo la atmósfera por parte de PASCAL en primer término y de HALLEY y LAPLACE después; a la observación del alisio y del monzón correspondió también una interpretación física plasmada en un modelo de circulación térmica; al descubrimiento del Jet Stream prosiguieron los nuevos planteamientos sobre Circulación General de ROSSBY. La interpretación del medio aéreo se ha llevado a cabo desde el S.XVI a partir de la observación empírica y de la formulación física; son las dos direcciones de los progresos efectuados en su conocimiento: la pragmática y la teórica; ha funcionado, por tanto, como la Ciencia Moderna en cuyo contexto metodológico se ha circunscrito pudiendo, por ello, obtener la calificación de disciplina científica, corriendo a cargo primero de la Climatología, después de la Meteorología Dinámica y Sinóptica.

## III.2. LA CONCEPCION CIENTIFICA DEL TIEMPO: EL TIEMPO ATMOSFERICO. LOS METEOROS COMO FENOMENOS ATMOSFERICOS.

Al contrario que la noción de atmósfera, la noción de tiempo es antigua. El tiempo ha suscitado un interés por el hombre desde épocas remotas; recordemos la dedicación de ARISTOTELES o de TEOFASTRO, su discípulo, en el 300 a.c cuando en el tratado "Sobre los signos de la lluvia, los vientos, las tormentas y el buen tiempo" trata de identificar en la aparición del sol, la luna y el cielo, así como en el comportamiento de los pájaros y los animales, los indicios del tiempo que iba a hacer en un período futuro. Sin embargo podemos remontarnos a períodos anteriores en los que el hombre ha tratado de desejar las incógnitas sobre este problema para poder asegurar su propia supervivencia especialmente desde el momento en que ésta se ha basado en la práctica agrícola.

Sin duda, puede admitirse que la preocupación del hombre por el tiempo, con sus inclemencias y bondades, ha evidenciado, a lo largo de la Historia, cierta perseverancia; ahora bien, no siempre ha operado sobre este problema inmemorial de igual modo. En este sentido, el inicio de la Edad Moderna marcó una pauta cuya continuidad hasta la actualidad conforma una etapa nítidamente contrapuesta a todo el período anterior cuya característica esencial consiste una vez más en **la incorporación de los presupuestos de la Nueva Ciencia y de la Física Moderna al tratamiento del tiempo.** En este sentido la noción de tiempo atmósferico emana del contexto de aplicación de los presupuestos de la Nueva Ciencia y de la Física Moderna a la interpretación del medio aéreo.

Este tratamiento científico del tiempo fue consolidándose paulatinamente en diferentes fases cuya conexión con la evolución de las Ciencias Físicas es sorprendente. A través de dichas fases se han efectuado importantes aportaciones que han permitido los sucesivos pasos hacia la construcción y el desarrollo de los modernos proyectos meteorológico y climatológico. La primera fase debemos centrarla en las concepciones descriptivas-locales del tiempo; la segunda en las concepciones descriptivas-sinópticas; y la tercera en las concepciones explicativas-tridimensionales que, a su vez, podemos dividir en dos subperíodos, uno de desarrollo de la termodinámica atmosférica, otro de desarrollo de la dinámica de fluídos.

La estimación del tiempo como tiempo atmosférico y la concepción integralmente física del mismo (que dimanaba de la concepción física del aire) fueron los factores que imprimieron un sensible cambio al significado del término griego "meteoros" de tal modo que su acepción antigua (elevado por encima de la superficie del suelo) adopta el

sentido moderno de fenómeno atmosférico (*); la amplia diversidad de meteoros y de fenómenos aerológicos que conforman el tiempo en general, una vez referidos al contexto atmosférico y se conjugan por medio de unas leyes físicas llegan a conformar las manifestaciones o aspectos de algo único, unitario, complejo y mutante: el estado de la atmósfera. A expensas de este sentido físico

---

(*)Recordemos que "meteoros" significaba elevado. En el pensamiento griego antiguo meteoors no designaba necesariamente los fenómenos situados inmediatamente por encima de la superficie del suelo; de hecho, con el neutro plural de "meteoros" ("meteora") se hacía referencia a los fenómenos celestes. Ver COBARRUBIAS, U. Dicc. Activo Etimológico de la Lengua Castellana). Significativamente, en el Tesoro de la Lengua Castellana o Española compuesto por el Licenciado J. SEBASTIAN de COBARRUVIAS OROZCO en 1610, donde aún no aparece la voz moderna "atmósfera" (a pesar de que su primera documentación data de 1609) y, por tanto, donde aún no se han dejado sentir los avances de la Nueva Ciencia y de la Física Moderna; el significado de meteoros mantiene aún estrechas vinculaciones con la acepción que se le dá en el griego antiguo: "...Meteoros. Cerca de los filosófos de la disciplina que trata de las impressiones que se hazen en la media y suprema región del aire (...) como son las lluvias, nieves, granizo y cometas; de lo qual trata Aristóteles en los tres primeros libros meteorológicos...": la región del aire tiene con COBARRUVIAS un sentido muy distinto del de PASCAL, TORRICELLI etc...: "...Dícese propiamente ayre aquel espacio que ay entre el elemento del fuego y el de la tierra (...). Los físicos le dividen en tres regiones superma, media y ínfima. Las impresiones que en este elemento se hazen, yo las remito a los que tratan la materia de metheoros, pués sería muy largo si aquí huviere de referir el cómo y dónde y de qué se engendra la niebla, el rocío, la lluvia, la nieve y el granizo, los truenos y relámpagos, los rayos, los cometas, los tifones, las cabras saltantes, los vorágines y aberturas del cielo, a lo que nos parece...".En el Diccionario de Autoridades compuesto por la Real Academia Española en 1726 aparece yá el término atmósfera ("...esphéra de vapores...") y también significativamente el término meteoro restringe su significado considerablemente si lo comparamos con la significación de COBARRUVIAS: "...Mixto imperfecto, que se engendra en el aire; como son las lluvias, nieves, granizo, exhalaciones y otras cosas que aparecen en él...". Sin duda, en el S.XVIII la influencia de la Nueva Ciencia y de la Física Moderna se dejaba sentir ya con suficiente profusión. Yá en el S. XIX Meteoro es "...todo fenómeno atmosférico como la lluvia, las exhalaciones, el trueno, etc...".

cobran los "meteoros" y los fenómenos atmosféricos llegaría a consolidarse la noción moderna de tiempo atmosférico, desde ahora referida a una realidad solidaria, pues tanto el tiempo atmosférico como sus manifestaciones circunstanciales, los meteoros, quedarán entendidos y explicados en último término a traves de los estados de la atmósfera. Es interesante someter a consideración el sentido físico de este término al que hemos aludidos: "estado"; la equivalencia entre "estado de la atmosféra" con la expresión generalizada en la Física Moderna: "estado de los gases", nos indica parcialmente el respaldo y el sentido físico con que está investida la concepción moderna del tiempo y de los meteoros. Sin embargo, las numerosas relaciones entre las variables atmosféricas que hacen del tiempo una noción mutante pero también solidaria, no sólo están sustentadas por la ecuación de estado de los gases sino, además, por todo el acopio de teorías y conceptos físicos modernos y contemporáneos entre los que encontraremos, junto a la ecuación de estado, la ecuación hidrostática, el primer principio de la Termodinámica, las nuevas concepciones sobre los cambios de estado de la materia (en el caso nuestro aplicados al agua) etc...pero muchos de estos conceptos y teorías no llegarán hasta la gran revolución de las Ciencias Físicas en el S.XIX; significativamente, a esta segunda revolución en la Física sucede, como veremos, casi inmediatamente otra segunda revolución en la contemplación del tiempo atmosférico (introducida en algunos casos por los mismos Físicos como es el caso de lord KELVIN) que reforzará la concepción física (científica) del tiempo atmosférico iniciada en el S.XVI.

### III.2.1. El inicio de las concepciones científicas del tiempo: las concepciones descriptivas-locales

Este corte que, en la contemplación del tiempo atmosférico, ocurre durante el S.XVI, marcando el paso de lo que se ha venido denominando etapa precientífica hacia las etapa científica, quedó evidenciado de forma temprana (en el S.XVII) por la asociación de las características y cambios del tiempo no yá a supersiticiones o a ciertas regularidades astronómicas, sino al exámen de ciertos fenómenos o variables físicas del aire tales como la temperatura o la presión, conceptos correspondientes a algunos de los más incipientes hallazgos encontrados por la Física Moderna en el campo de la experimentación. El asociar el cambio del tiempo a un cambio de presión o de temperatura, no a la forma de volar una determinada ave o a la llegada de una fecha del calendario astronómico, supone yá un cambio lo suficientemente sustancial como para hablar de un nuevo contexto, una nueva etapa en la aproximación al conocimiento de ciertas leyes que rigen la Naturaleza y que permiten la dominación del medio por el hombre, espíritu que impregna desde sus albores el quehacer de la Nueva Ciencia.

Ya hablábamos con anterioridad, a través de las palabras del historiador de la Ciencia A.C.COMBRIE, del proyecto de R.FLUDD basando la indicación e incluso la prognosis de las condiciones climáticas en la observación del aire utilizando un instrumento parecido al termoscopio de GALILEO.

Con fines relativos al vaticinio del tiempo también se acudió con gran profusión y cierta prontitud, en relación a la fecha de su invención, al barómetro o "cristal del tiempo", de tal modo rápidamente llegó a constituir el instrumento decisivo para la predicción. En el caso del barómetro, la indicación y pronóstico del tiempo presente e inmediato, respectivamente, quedó mejor evidenciada que en el caso del termómetro por la construcción de barómetros de cuadrante, como el de HOOKE en 1665, que llevaban y aún hoy llevan, junto a los valores numéricos de presión, las características locales del tiempo asociadas. Significativamente, el barómetro, que tuvo un papel fundamental en la deducción de la existencia de la atmósfera, estaría llamado a ser, simultáneamente, el instrumento básico para describir y predecir el estado y las manifestaciones de esa atmósfera. Como dice GENTILE (1947 p.284-5) "...Apenas algunos años después del descubrimiento de TORRICELLI, un hecho interesante atrajo la atención de los estudiosos: la variación de la presión estaba en relación -más o menos marcada- con las condiciones meteorológicas. Esta relación permitiría sustituir los numerosos factores que constituyen el tiempo por una media física perfectamente definida y susceptible de ser determinada con precisión independientemente de la apreciación subjetiva que el observador pueda dar a los diferentes fenómenos. No debe extrañarnos que el tratamiento de las isobaras y de los tipos isobáricos (...) encontraran una gran fortuna..."

El empleo del termómetro y con mayor éxito, del barómetro, para estas cuestiones relativas a la prognosis, evidenció el espíritu empírico, objetivo y métrico acorde con los presupuestos de la Nueva Ciencia. Pero esta actitud nueva no sólo se iba a mantener para vaticinar el tiempo: la descripción diaria local del estado de la atmósfera en superficie y del tiempo atmosférico en general también sería llevada a cabo a través de una serie de parámetros físicos tales como la humedad, la temperatura, la presión, etc... a los que añadían otros valores tales como el estado del cielo, el viento, etc..: las observaciones que definían física y cuantitativamente el estado de la atmósfera en superficie, el marco que daba lugar al tiempo, proliferaron (especialmente las barométricas), como poco antes habían proliferado las mediciones físicas y empíricas, en el laboratorio, de los gases. Todos estos avances en la concepción y el tratamiento del tiempo atmosférico ejemplifican el cambio de

actitud ante los fenómenos aerológicos en general operado en ese paso de la etapa precientífica al contexto científico de la Edad Moderna.

Las descripiones a través de observaciones métricas de variables físicas, por un lado, y, por otro, la predicción del tiempo basada fundamentalmente en el barómetro, constituyeron las principales aportaciones de esta etapa desarrollada aproximadamente entre los S.XVI y XVIII. Podríamos calificarla de etapa fundamentalmente "instrumental", esencialmente descriptiva y abocada hacia los estudios locales pués raramente se llegó a coordinar y a utilizar una red de observaciones.

Los logros alcanzados en esta etapa pueden parecer reducidos: sólo llevaron los instrumentos empleados por la Física Moderna al contexto aéreo (ahora definido como contexto atmósferico) para describir localmente el marco físico que caracterizaba las particularidades del tiempo en un momento y en un lugar determinados y, simultáneamente, se describían también las características asociadas del tiempo. La elaboración de teorías físicas explicativas no prosperó en esta época inicial. Sin embargo con estas escasas aportaciones se abrían unas perspectivas nuevas y muy amplias que encauzarían el trabajo en el futuro: primero la elaboración y la difusión de las observaciones meteorológicas, segundo la investiación de los fenómenos atmosféricos en el campo de las Ciencias Físicas. Son dos aspectos, uno práctico, el primero, y otro teórico, el segundo, que dejarán en deuda con esta época inicial a todos los esfuerzos posteriores empeñados en explicar las incógnitas del tiempo y desvelar las leyes de su evolución.

### III.2.2. El inicio de las concepciones descritivo-sinópticas del tiempó

La nueva línea "científica" que se inaugura en el S.XVI se vió jalonada desde entonces hasta hoy por muchos e importantes avances que han permitido dar los sucesivos pasos hacia la construcción y el desarrollo de los modernos proyectos científicos relacionados con el tiempo atmosférico. De estos avances hubo uno fundamental: la utilización de redes de observaciones, especialmente barométricas. Este paso decisivo yá a sustentar la superación de los planteamientos locales en la concepción del tiempo atmosférico y en la predicción. Hasta después de la segunda mitad del S.XVIII, sin embargo, los meteorólogos trabajaban aisladamente sin coordinar sus observaciones: "...el exámen 'local' del cielo -dice VIAUT-, de la temperatura y del viento, constituía todo su trabajo. Este período de trabajo 'local' se caracteriza por el desconocimiento de la solidaridad de todos los fenómenos atmosféricos y la vana esperanza de descubrir leyes que rigen su evolución en 'un' lugar, partiendo únicamente de

los valores procedentes de ese mismo lugar..." (VIAUT A. 1981 p.10).

Para consumar ese importantísimo avance que constituyó la superación de los planteamientos locales fueron necesarios los esfuerzos acumulados de casi dos siglos (S.XVII y XVIII) durante los cuales, simultáneamente al perfeccionamiento y a la introducción de nuevos aparatos de medición, se llevaron a cabo distintos intentos para organizar una red de observaciones (*) y conseguir una estadística meteorológica con anotaciones llevadas a cabo simultáneamente en diversas localidades bajo la coordinación de ciertas normas. Estos intentos, aunque a los pocos años se vieran interrumpidos, dejaron sin embargo un legado valioso: la publicación de las observaciones, gracias a la cual se pudieron constatar ciertos hechos que atestiguaban la condición espacial de las manifestaciones del tiempo y de las causas, así como su movilidad. R. HARDY, P. WRIGHT, J. WRIGH y J.KINGTON (1983 p.183) inciden precisamente en estos aspectos: "...Estudiando los registros, los científicos ingleses WILIAM DERHAM y GEORGES HADLEY cayeron en la cuenta de que los cambios de presión no tenían lugar siempre en diferentes lugares a la vez. Posteriormente con las observaciones realizadas al mismo t.empo -1723- en una serie de estaciones france-

---

(*)Aunque los primeros registos sistemáticos del tiempo datan de principios del S.XIV con WILLIAN MERLE en Gran Bretaña (Ver DANIEL,H. 1973 p.199), la primera red internacional fué debida a Fernando II de Toscana en 1653 sobre varias ciudades italianas a las que se añadió París, Insbruck y Varsovia, llegando hasta 1667. En 1723 la Royal Society de Londres invita a realizar envios de observaciones a distintos puntos del globo entre los que se encontraban junto a localidades del Viejo Continente otros puntos de la India y de Norteamérica. En 1759 MIKHAIL LOMONOSOV propuso una red para Rusia con el fin de pronosticar el tiempo para beneficio de agricultores y marinos. En 1778 la Real Sociedad de Medicina de Francia estableció una red para investigar la relación tiempo-enfermedades y hacia 1784 esta red contaba con más de 70 observatorios en Francia, Alemania, Holanda, Austria, EE.UU y París. Poco después LAVOISIER intentó establecer una red que cubriera todo el Planeta y se publicara un Boletín. Hacia 1780 la Societas Meteorologica Palatina (Alemania) llevó a cabo una red que en 1781 contaba con doce estaciones de Europa Central y en el siguiente lustro alcanzó cerca de 50 observatorios repartidos por Rusia, Europa Occidental, Groenlandia y Norteamérica: la publicación de los volúmenes de observaciones ("phemérides") se interrumpió en 1792.(Ver ALBENTOSA, 1976 ; HARDY y otros 1983).

sas J. DE BORDA constató que los cambios de presión se propagaban con una dirección y una velocidad íntimamente relacionadas con la velocidad del viento. Se daban así los primeros pasos hacia el reconocimiento del concepto de sistemas móviles -tán importantes en el actual pronóstico sinóptico del tiempo-...".

El reconocimiento, por un lado, de la existencia de regiones más o menos extensas de bajas presiones y la asociación de los temporales a esas regiones, así como, por otro lado, la comprobación de la movilidad de dichos temporales con desplazamientos provistos de cierta regularidad (*), permitió intuir la posibilidad de una predicción mediante el aviso de los sistemas borrascosos desde unos observatorios a otros. No obstante, la realización práctica de otra idea dependió, una vez más, de un avance tecnológico: la instalación de unos medios de comunicación suficientemente rápidos; pero esto sólo fue posible trás la invención del telégrafo electrónico en 1840. Esta fecha puede considerarse como un hito en la Historia de la Meteorología. Quince años después, y trás la investigación de U.LEVERRIER sobre el temporal de Noviembre de 1854 en el Mar Negro, que se había presentado previamente en las costas francesas y había seguido a través del Viejo Continente, se llevaron a cabo (1855) los primeros ensayos de "telegramas del tiempo" a partir de diversos puntos, que conformarían de este modo una red de observatorios; la observación dejó entonces de detentar un interés exclusivamente estadístico y más o menos teórico para alcanzar un carácter práctico: la predición.

El resultado del estudio de LEVERRIER entusiasmó a los que se preocupaban por la predicción del tiempo; este optimismo fue determinante para que se estableciesen las bases de la superación de los planteamientos locales. Así, durante esta época del S.XIX, (**) en la primera

---

(*)Destacaron, yá en el S.XIX, los estudios de BRANDES que demostraban la procedencia Atlántica de los temporales errantes que afectabaan a Europa.(Ver PETTERSSEN 1976 P.28).

---

(**)"...Los meteorólogos sabían yá a finales del S.XIX dice MARTONNE- explicar estas perturbaciones por el desplazamiento de los centros de altas y bajas presiones arrastradas generalmente en el gran flujo atmosférico hacia el Este. Habían advertido las trayectorias más frecuentes seguidas y, cuando podían ser informados sobre la marcha de un ciclón durante uno o dos días, creían poder predecir su siguiente posición, con todas las consecuencias sobre el cambio del tiempo. Si estas previsiones no estaban siempre verificadas, se podía atribuir a la insuficiencia de la información con la que era preciso contentarse..." (MARTONNE 1948 p.19)

Conferencia Meteorológica Internacional (en Leipzig, 1872) y en el Primer Congreso Meteorológico Internacional (en Viena, 1873) surgieron los pilares de la cooperación meteorológica entre las diversas naciones: "...Al contemplar los acontecimientos que tuvieron lugar en Viena -dice H.DANIEL- en septiembre de 1873, se puede decir que se trata del comienzo de la fase preparatoria de la meteorología internacional organizada..." (DANIEL 1973 p.202). La Organización de los Servicios Meteorológicos más importantes, que datan del mismo S.XIX., así como de la O.M.I., que después sería la O.M.M., no fueron sino proyecciones de las ideas desarrolladas en estos primeros congresos y conferencias.

Pero la superación de los planteamientos locales en la concepción del tiempo y en la predicción no sólo estuvo facilitada por la coordinación y la difusión de diferentes observaciones puntuales sino además, en la elaboración de mapas sinópticos. Hasta cierto punto, tiempo atmósferico y mapa sinóptico quedaron vinculados de tal forma que, aún hoy, a estos mapas (incluso cuando sólo representan valores barométricos) se les llama "mapas del tiempo". Podemos afirmar que el mapa sinóptico fué, y es en la actualidad, la expresión culminante de la superación de los planteamientos locales en la concepción del tiempo.

Los mapas sinópticos revelaron tempranamente (1820) una serie de aspectos fundamentales tanto para la indicación como para la prognosis del tiempo; constituyeron en definitiva el medio más idóneo para llegar a comprender y conocer la naturaleza cambiante de la atmósfera "...la necesidad de elaborar como mínimo un mapa sinóptico diario sobre la base de la información meteorológica recibida por telégrafo -escribía H.WILA, uno de los participantes de la Conferencia Meteorológica de Leipzig en 1872-, con el fin de dar avisos de temporales, procedimiento que no tendrá dificultades de realización en el futuro, esta está según yo creo, muy estrechamente vinculada al estudio de la teoría de los fenómenos meteorológicos. Solamente por este camino lograremos construir gradualmente una idea correcta de la dinámica atmosférica y ello conducirá a una comprensión de las leyes correctas del tiempo..." (Ver FEDEROV E.K y BOHME,V. 1972 p.170).

Si, como recientemente han escrito PEGUY y MARCHAND (1982 p.186), con el establecimiento de las primeras redes sinópticas, la Meteorología deja de ser la simple sucesión del tiempo en un lugar (o una serie de lugares) para convertirse en una "ciencia espacial", el útil teórico fundamental quedó constituido por el mapa sinóptico. Pero la falta de una red de observaciones impidió también la realización sistemática de mapas sinópticos hasta 1817 aproximadamente, fecha en la que se atribuye a BRANDES

la primera carta sinóptica de superficie (*). Pero pronto, hacia mediados del S.XIX, DOVE, ESPY y BUYS-BALLOT, entre otros, dieron un fuerte impulso tanto al método sinóptico como a la interpretación de los mapas barométricos: así, por ejemplo, tuvo especial interés el establecimiento de la relación entre la dirección del viento y los centros de altas y bajas presiones expresado como resultado de un campo de fuerzas: la acción de Coriolis y el gradiente de presión.

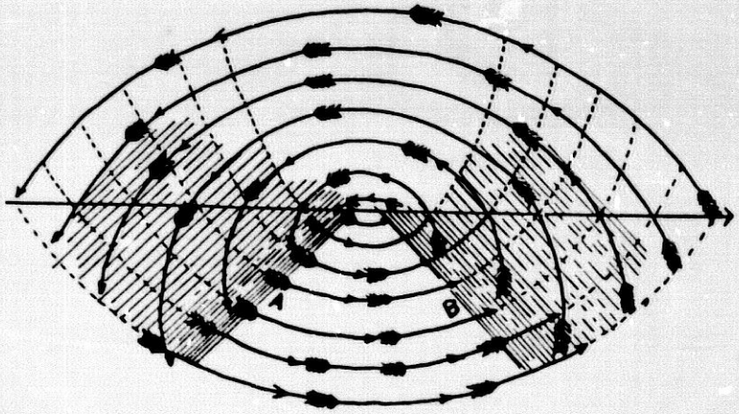
La Meteorología Sinóptica, una vez impulsada en sus bases y apenas dispuso de una red de comunicaciones, se orientó hacia el estudio de los "tipos isobáricos" de tal modo que la previsión se centraba en dónde estaba y dónde iba el ciclón y el anticiclón (GENTILE, 1947 p.315). Trás la primera descripción precisa de un ciclón (DAMPIER 1687) y los primeros intentos explicativos de DOVE y ESPY (**), el protagonismo de las borrascas en la evolución del tiempo fué destacándose hasta llegar a ser concretado, entre otros, por FITZORY y ABERCOMBRIE quienes relacionaron las diversas fases de los cambios del estado de la atmósfera con las configuraciones isobáricas; llevaron

---

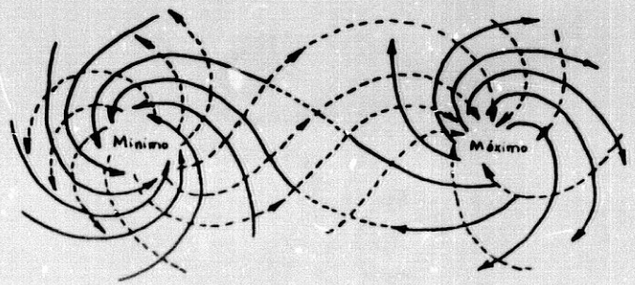
(*)Según H.FLOHN (1968 p.120): "...El observador que a diaraio contempla desde un punto el contínua cambio del tiempo, sólo puede ver un pequeño sector (...). Para poder disponer de una visión de conjunto del estado del tiempo, más detallada y precisa, ha sido necesario anotar cuidadosamente sobre los mapas, las observaciones meteorológicas hachas simultáneamente en muchos puntos. Esto fue hecho por primera vez por el profesor BRANDES en Leipzig, en 1817, basándose en las observaciones efectuadas durante varias décadas por la primera red internacional de estaciones meteorológicas de las que desponía la "Sociedad Meteorológica del Palatinado" (...) de Mannheim (1781-1795). A este tipo de observaciones meteorológicas, realizadas simultáneamente lo denominamos meteorológía sinóptica (sinópsis=visión de conjunto)...".

---

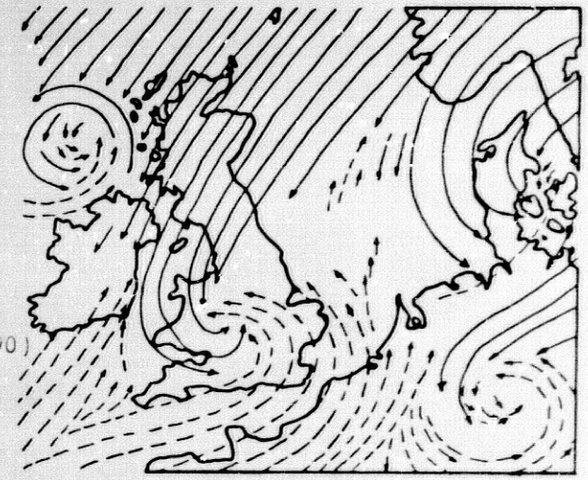
(**)Los trabajos de J.P.ESPY junto con los de los británicos FIDDINGTON y REID pudieron yá desvelar entre 1930 y 1940 aproximadamente la existencia de configuraciones características de la presión del viento y de las condiciones meteorológicas (de presión, anticiclón) así como reglas empíricas de su desarrollo, movimiento y subsiguientes cambios del tiempo.(Ver H.DANIEL 1973 p.201) quién, además, expone el que constituyen una fase muy significativa de las concepciones descritivo-sinóticas, se llevaron a cabo mucho después de la fecha de las observaciones lo cual indica que no tenián un carácter operativo: se trataba de investigaciones teóricas, nunca de predicciones.



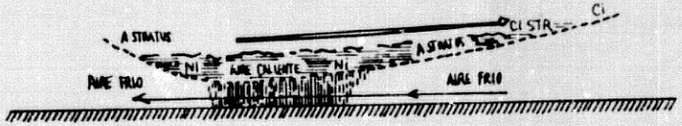

Modelo de borrasca de maese M. Jinman (1861)

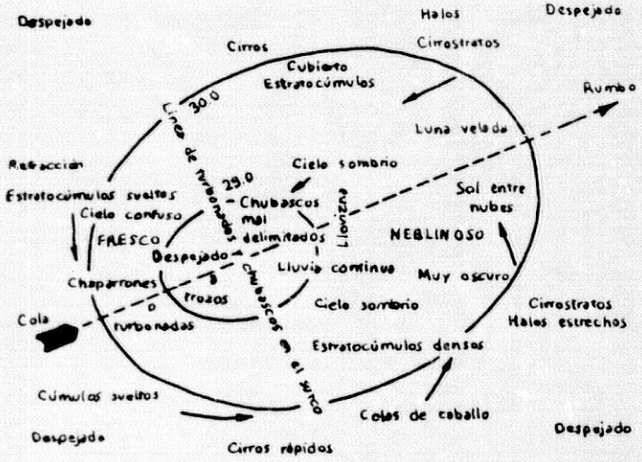



Modelo de borrasca propuesto por Van Bebber (1890)

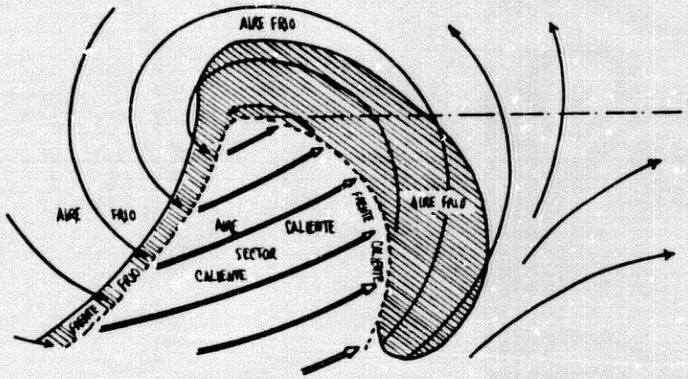


Modelo de Fitz Roy (1863)

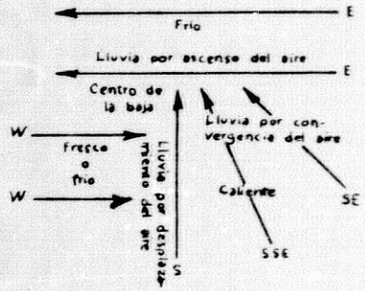



Modelo de borrascas de Abercromby (1883)




Modelo de ciclón de Bjerknes (1918)




Esquema de Shaw (1911)

**Figura 1.: Los primeros modelos de borrasca en los inicios de la Meteorología**

**FUENTE : PETTERSSEN,S. (1976)**

a cabo de este modo esquemas puramente descriptivos y esencialmente bidimensionales. Si la asociación del "tiempo perturbado" a las bajas presiones viene reflejada por los esquemas de FITZROY y ABERCOMBRLE, la concepción "móvil" de las borrascas y del tiempo (otro aspecto destacado en el estudio de las mismas) quedó incuestionablemente reflejada por los trabajos de VAN BEBBER en su descripción de las trayectorias ciclónicas típicas de Europa, o los anteriores trabajos de W.C.REDFIELD (hacia 1820) quién confeccionó la primera serie de mapas de huracanes mostrando su movimiento relativo y progresivo (Ver DANIEL 1973 p.201).

En la Figura adjunta extractamos gráficamente el resultado esquemático de algunos estudios y teorías desarrolladas de 1860, aproximadamente, hasta la segunda década del S.XX. Aquí se evidencia el interés incuestionable suscitado por las borrascas para el desenvolvimiento del tiempo atmosférico desde que su configuración isobárica fué esbozada en un mapa sinóptico. Estos estudios y teorías llegaron, a lo largo de la segunda mitad del S.XIX y principios del S.XX, a diferenciar entre las borrascas intertropicales y las extratropicales, hasta desembocar en un modelo para estas últimas hacia 1920 elaborado por BJERKNES. Sin embargo, como anota PETTERSSEN (1976 p.289) hubo un período de discusiones entre los partidarios de una "teoría circular" (respaldada por las observaciones en la zona tórrida) y de una "teoría de las corrientes opuestas" (extraída a partir de la experiencia en la zona templada): apoyando esta segunda teoría DOVE adujo ejemplos y argumentaciones que le hacen situarse en los precedentes lejanos de la Escuela Noruega del Frente Polar y del análisis de las masas de aire (*).

Trás un período prácticamente ininterrumpido de elaboración, los mapas barométricos revelaron además otros hechos: la presencia perseverante (anual o estacional) de células de altas y bajas presiones (tanto dinámi-

---

(*)Existe naturalmente un notable distanciamiento entre los planteamientos del alemán DOVE (1840), así como los de su época en general, y los posteriores de la Escuela de Bergen (1920). ARCIMIS, recogiendo la teoría de DOVE, nos significa: "...A mediados del S.XIX (...) se trataba de averiguar la causa que producía los trastornos atmosféricos (...) por el método de los promedios. Un famoso meteorologista alemán, DOVE, cuyos inmensos trabajos van destruyendo poco a poco las investigaciones modernas, trataba de explicar los accidentes climatológicos, suponiendo que todos los vientos se originaban de los alisios y contralisios, que el llamaba coriente polar y corriente ecuatorial (...) corrientes que se acercaban del todo o se elevaban según las circunstancias..." (ARCIMIS 1913 p.115).

cas como térmicas), es decir, los "pivotes" en torno a los cuales se mueve la circulación: su existencia fue puesta de manifiesto, a través de los mapas sinópticos barométricos, por TEISSERENC de BORT a finales del S.XIX (1883) quién les dió el nombre de "centros de acción" (ALBENTOSA 1976 p.143). TEISSERENC DE BORT se ocupó de desvelar la incidencia de estos grandes individuos isobáricos en los carácteres generales del tiempo llevando a cabo estudios concretos (*). Con justicia R.G.BARRY y D.H.PERRY (1973 p.373),entre otros, sitúan a TEISSERENC DE BORT como el iniciador de la historia de la previsión a largo plazo basada en modelos barométricos a gran escala, los centros de acción.

Hacia la segunda década del S.XX la elaboración y la interpretación de los mapas sinópticos de superficie había alcanzado, al menos en la Zona Templada, un alto grado de desarrollo. Los aspectos predominantemente regulares de los mismos, los centros de acción, habían sido puestos de relieve por TEISSERENC DE BORT; los aspectos irregulares, las perturbaciones, habían sido también motivo de análisis aunque, en este sentido, el último paso, y también el más importante, fue dado a finales de esta segunda década del S.XX cuando se postularon las teorías de la Escuela Noruega.

Resumiendo, si en torno al S.XVI-XVII (etapa descriptiva-local) se alcanzó la visión física (científica) y atmosférica del tiempo, es durante este período cuando se llega a alcanzar además una perspectiva espacial; en esta etapa se consumaron por tanto los adelantos necesarios para permitir el nuevo enfoque que se inicia a mediados del S.XIX y se desarrolla a lo largo del S.XIX:

-Adelantos de orden práctico: la coordinación de una red de observaciones y la difusión rápida de la información meteorológica con fin a la prognosis permitió superar la casi exclusiva función estadística que anteriormente detentaban los observatorios del tiempo.

-Adelantos de orden metodológico: la elaboración cada vez más sistemática de una cartografía descriptiva del tiempo a través de mapas sinópticos hizo posible la visión espacial y conjuntada de diferentes elementos, entre los cuales destacó la presión, confirmando de este modo la definitiva superación de los planteamientos loca-

---

(*)Entre estos estudios podemos señala: "Etudie sur la position des grandes centres d'action de la atmosphére au printemps" y "Etude sur l'hiver de 1871-1880 et recherches sur la position des centres d'action de la atmosphère dans l'hivers anormaux".



les en la concepción del tiempo atmosférico.

-Adelantos de orden teórico: se llegaron a entender y a formular con cierta precisión las interrelaciones entre fenómenos atmosféricos y los mapas del tiempo, así por ejemplo se asociaron las regiones de alta y baja presión a un estado del cielo característico, gradientes de presión a direcciones y fuerzas del viento, etc...; se pudieron advertir, además, una serie de hechos trascendentales no sólo para interpretación del tiempo atmosférico sino además para la interpretación de su evolución, tales como la existencia de individuos barométricos de bajas presiones cuya movilidad comprobada y limitada extensión era la que inducía los cambios fundamentales del tiempo en las regiones hacia donde se desplazaba; con la ayuda de los mapas sinópticos barométricos también se verificaron los centros de acción que tán decisiva influencia en los rasgos generales del tiempo en una región, tienen.

El conjunto de estos avances constituyó, en lo fundamental, una tarea descriptiva, sólo que, a diferencia del período anterior, la descripción se llevaba a cabo sobre la visión ofrecida por los mapas sinópticos; ello confirió, sin duda, una mayor riqueza de contenidos a la concepción del tiempo atmosférico y desencadenó todo un conjunto de hallazgos descriptivos sobre fenómenos y causas de fenómenos atmosféricos difíciles de advertir desde una perspectiva local: la identificación de los individuos barométricos y, especialmente, de los núcleos de baja presión, así como la descripción de sus caracterísiticas, constitución y comportamiento, fue la parte esencial d l trabajo y las aportaciones de esta época descriptivo-sinóptica. El análisis del estado de la atmósfera y del tiempo a partir de ahora, deja de fundamentarse en planteamientos empíricos y locales para quedar definitivamente referido a los mapas sinópticos y a los mapas barométricos, especialmente.

### III.2.3. Las concepciones explicativo-tridimensionales del tiempo.

Desde 1860, aproximadamente, las concepciones sobre el tiempo atmosférico se van enriqueciendo a dos niveles:

A)La introducción de nociones explicativas, físicas.

B)El desarrollo de una perspectiva tridimensional en la contemplación del mismo.

El endeudamiento de la concepción y el análisis del tiempo atmosférico con la Física no se limitaría a la prestación de instrumentos, o de nociones como las de presión, temperatura, etc... o de conceptos como el de estado, movimiento, etc... aplicados al estudio del aire

y de los meteoros, fuere a nivel local, fuere a nivel sinóptico. En realidad, entre los avances contemporáneos de la Física, sobre todo los que originaron una auténtica revolución hacia mediados del S.XIX dimanaron nuevas aportaciones que consolidaron aún más la noción de tiempo y, simultáneamente, confirieron a los fenómenos y procesos atmosféricos, un respaldo explicativo, científico y físico que no se había alcanzado con anterioridad. Parece como si, a los avances más señalados de las Ciencias Físicas (S.XVI-XVII y segunda mitad del S.XIX), sucediera inevitable e inmediatamente las correspondientes revoluciones en la contemplación del tiempo atmosférico.

Durante el S.XIX, las renovadas concepciones en el contexto de la teoría cinético-molecular sobre la materia o la introducción de conceptos como, por ejemplo, el de energía y de leyes o principios como los expresados en Termodinámica, yá aludidos anteriormente, tuvieron una notable repercusión en las ideas que se iban a formular para la explicación de ciertos procesos atmosféricos; esta renovación de la Meteorología en ciertos casos corrió a cargo de los mismos físicos cuyo protagonismo en la revolución decimonónica de la Física había sido relevante.

A diferencia de todo el período anterior (S.XVI-primera mitad del S.XIX), las leyes y principios que la Física decimonónica había establecido se destinaron a la explicación concreta del tiempo en un lugar y un momento determinado: el interés por el tiempo atmosférico ha ido creciendo incluso más que las consideraciones globales y regulares sobre la Circulación General de la Atmósfera, hasta llegar al reconocimiento de que son las situaciones diarias que ofrece el tiempo, en su incesante evolución, el único punto de partida para la estimación de los fenómenos globales y de las "regularidades" de la atmósfera según vimos con anterioridad. Naturalmente esto ha sido posible gracias al reconocimiento de los procesos físicos que subyacen a las situaciones reales que ofrece la atmósfera: los avances ocurridos en la explicación del tiempo desde el S.XIX han repercutido, pués, más allá de la misma explicación concreta que pretendían, han supuesto un enfoque revolucionario al cual, cualquier consideración sobre el medio aéreo, no puede yá substraerse, ni siquiera la consideración de la Circulación General Atmosférica.

Por otro lado, el enriquecimiento de las concepciones sobre el tiempo dependió, simultáneamente, del desarrollo de una perspectiva tridimensional en la contemplación del mismo. Efectivamente, aunque los adelantos observados sobre la base de los mapas sinópticos desde finales del S.XVIII hasta bien adentrado el S.XIX fueron decisivos para la aproximación al tiempo atmosférico, no llegaron a constituir, sin embargo, adelantos definiti-

vos: se daría aún un paso más que, asímismo, imprimió un avance fundamental a otra actividad empeñada en desentrañar las incógnitas del tiempo atmosférico: se trata de la incorporación de la incidencia de las capas y niveles atmosféricos situados a cierta altura en la consideración del tiempo en la superficie terrestre. De tal modo la interpretación y la predicción del tiempo, que había dejado de ser una actividad local para convertirse, con la utilización de una red de observatorios y del método sinótico, en una "ciencia espacial", pasa ahora a constituir, además, una ciencia tridimensional.

Ciertamente, desde principios de la Edad Moderna se había comprendido que los niveles superficiales y de altura estaban interconectados, no eran independientes. La misma teoría térmica de la circulación general exigía un movimiento del aire de altura meridiano y con sentido opuesto al de superficie: de aquí surgió el postulado del contralisio cuya existencia sería desmentida posteriormente por la observación directa. Sin embargo lo cierto es que, a pesar de todo, hasta el S.XIX y, con mayor profusión, hasta el S.XX, ni se dispone de las observaciones meteorológicas de altura precisas, ni tampoco se les concede a los hechos ocurridos en los altos niveles el papel que detentan en el desenvolvimiento del tiempo atmosférico en superficie.

La conquista vertical del medio aéreo por parte del hombre a lo largo del S.XIX y, fundamentalmente en la primera mitad del S.XX, con el desarrollo de la navegación aérea y de las observaciones intrumentales, a través de los globos piloto y los radiosondas, indujo el descubrimiento de una serie de fenómenos que acabarían por desvelar la importancia de las condiciones de altura en el desenvolvimiento del tiempo en superficie.

El hallazgo de la Tropopausa (*) permitió, yá, la delimitación de un contexto bien definido espacialmente y con características propias, "solidario"; constituía esencialmente un ámbito mutante, turbulento (tropos= cambio), donde tenía cabida la nueva apreeciación tridimensional del tiempo atmosférico y donde iban a ser buscados los procesos, mecanismos y fenómenos aerológicos que operaban la incesante evolución del tiempo.

Consiguientemente, los dos niveles que enriquecieron, según hemos dicho, las concepciones sobre el tiempo a partir de mediados del S.XIX (la introducción de nocio-

---

(*)Según PETTERSSEN (1976) los sondeos con globo hechos entre 1899 y 1902 condujeron a ASSMAN (Alemania) y a TEISSERENC DE BORT (Francia) al descubrimiento de la estratosfera, y, a poco, GOLD (Inglaterra) y HUMPHREYS (USA) establecieron la existencia de la Tropopausa.

nes explicativas, físicas, y el desarrollo de una perspectiva tridimensional) matuvieron una clara vinculación, incluso con anterioridad al descubrimiento de la Tropopausa, desde los trabajos de KELVIN, HERTZ, etc... en torno a 1860, por supuesto también con posterioridad, tal y como se verifica en las teorias de la Escuela Noruega y en las posteriores de la Escuela de Chicago. Sin duda el aspecto teórico y explicativo de base estrictamente física (que dió a estos trabajos el valor que hoy detentan) tuvo su fundamento en la consideración de la realidad tridimensional que subyace al tiempo.

**III.2.3.1. El desarrollo de la Termodinámica Atmosférica y la introducción del concepto de energía.**

En el contexto atmosférico la palabra energía suele evocar la incidencia del Sol sobre nuestro Planeta, y nos traslada a cuestiones relativas a la Circulación General Atmosférica. Pero el problema de la Circulación General Atmosférica se remonta a tiempos (S.XVII) en los que el término energía en su sentido y significación contemporáneo no exisstía pues este no se acuña hasta 1907. El concepto actual de energía, referido a la incidencia del Sol sobre la Tierra, empieza a ser tratado científicamente con las primeras evaluaciones de la "constante solar" (*). Sin embargo el término energía no sólo ha sido aplicado a fenómenos extrínsecos (el Sol) también ha sido aplicado a fenómenos intrínsecos a la atmósfera, a procesos internos. Este otro aspecto de la energía atmosférica tratado a partir de mediados del S.XIX en íntima conexión con el postulado de la Termodinámica ha tenido, en nuestra opinión, un mayor interés, sirviendo para dar un fuerte impulso a las concepciones explicativas del tiempo atmosférico que caracterizan esta etapa.

El tiempo atmosférico, que yá había sido cartografiado a través de los mapas sinópticos, cobra de esta manera una relevancia inusitada mientras se reforzaba el divorcio entre las realidades a las que hacían referencia los procesos comprendidos en la evolución del tiempo atmosférico por un lado y la circulación general atmosférica por otro lado: es decir, el divorcio entre los procesos físicos, concretos, reales e intrínsecos al aire como gas y los teóricos procesos físicos, globales, desarrollados a partir de unos factores extrínsecos que inciden sobre la superficie terrestre (la radiación solar). Este divorcio se agudizará cada vez más y conduciría yá en el S.XX

---

(*)Probablemente SAUSSURE y J.HERSCHEL fueron los primeros que abordaran el problema, pero POUILLET fue el que dió en 1838 una solución más completa. Trás 1860 se han realizado nuevas experiencias las de CROVA y VIOLLE por ejemplo, que no se han interrumpido hasta la era de los satelites meteorológicos, un siglo después.

a la negación de la validez real de los modelos de circulación atmosférica que enmascaraban el protagonismo singular que, el tiempo atmosférico y los procesos físicos asociados a su evolución concreta (intercambio interlatitudinal de energía calorífica, cinética, etc...), detentaban en el funcionamiento de la globalidad atmosférica planetaria.

Es preciso insistir en que este interés que ha cobrado el tiempo atmosférico cuando se han desvelado algunos de los procesos físicos que explicaban su evolución ha dependido de la utilización de una serie de nociones físicas relativamente recientes, en su mayoría de mediados del S.XIX.

Entre los diversos aspectos que presentó la revolución de las Ciencias Físicas, mediado el siglo XIX, tuvieron un especial importancia los primeros postulados sobre termodinámica. Y estos fueron los que, en el mismo S.XIX, se hicieron extensibles de forma explícita a la atmósfera dando pié a la formulación de los principios básicos de la termodinámica atmosférica: hacia 1865 KELVIN (W.THOMSON) dedujo una expresión para la rapidez de enfriamiento del aire seco en expansión sin recibir calor de fuentes externas (gradiente adiabático seco) y en 1884 HERTZ, otro prestigioso físico, extendió esa ley para incluir el calor latente desprendido cuando se condensa vapor de agua en el aire que se expande (gradiente adiabático húmedo). Indudablemente la Física decimonónica ofreció, con la Termodinámica, un valioso "útil conceptual" para la interpretación y explicación del medio aéreo: y la importancia de estas deducciones físicas en la comprensión de algunos aspectos fundamentales del tiempo pronto se dejó ver cuando, hacia 1865 (Según J.H.FLOHN 1968 p.124), J.HANN desveló la relación entre el lento ascenso y descenso del aire y la evolución del tiempo atmosférico, descubrimiento importantísimo para la explicación del efecto Föhn.

Las aportaciones citadas de KELVIN y de HERTZ sobre termodinámica atmosférica sustentaban, por otro lado (tal y como decíamos anteriormente) una nítida concepción tridimensional del tiempo donde al plano vertical se le hacía jugar un papel fundamental en el desarrollo de los mecanismos atmosféricos que ellos desvelaron. El interés de las observaciones térmicas, higrométricas y barométricas de altura debió verse entonces considerablemente incrementado, al mismo tiempo que se establecían las bases para la posterior introducción del concepto de masa de aire. Sin embargo, el uso del radiosonda, por ejemplo, no se llevó a cabo de forma más o menos sistemática hasta aproximadamente 1940: el interés teórico de la altura no se vió suficientemente correspondido en la práctica con la observación de las capas superiores. Pero a partir de 1940, los datos de altura hicieron posible el análisis

basado en el tefigrama cuyos antecedentes directos podemos situarlos fundamentalmente en los trabajos de termodinámica atmosférica elaborados por KELVIN y HERTZ; el tefigrama corresponde, igual que las aportaciones de KELVIN y HERTZ, a una concepción yá inequivocamente tridimensional y explicativa (física) del tiempo y de los procesos atmosféricos desarrollados en un contexto aéreo. Como dice A.AUSTIN MILLER (1970 p.133) "...el tiempo ocupa tres dimensiones, y no podemos permitirnos el ignorar el corte vertical de la atmosféra. El diagrama temperatura-altura ("tefigrama" y variantes) es un instrumento indispensable para el meteorológo y ha sido hábilmente ideado y perfeccionado...".

Los trabajos decimonónicos sobre termodinámica tuvieron además una importante proyección en las teorías elaboradas con posterioridad, hasta tal punto que su desarrollo y afirmación dependió en todo momento de la consideración previa de los fenómenos que habían sido evidenciados por KELVIN, HERTZ, etc...; por esto puede considerárseles como uno de los pilares sobre los cuales se fundó lo que se ha venido denominando "revolución meteorológica del S.XX" (ALBENTOSA, 1975 p.110 y otros). La antigua y clásica teoría de las tempestades, centrada fundamentalmente en las capas inferiores de la atmósfera, casi en contacto con el suelo, se basaba yá en la concurrencia de una porción de circunstancias especiales de calma, temperatura, humedad, equilibrio inestable del aire, etc... (ARCIMIS 1913 p.186).

Pronto, otras "explicaciones del tiempo", más elaboradas, completas y globales se abrieron camino, y lo hicieron sin perder de vista en ningún momento los fenómenos relativos a la termodinámica atmosférica desvelados por estos notables físicos poco después de la mitad del S.XIX y, naturalmente, sin olvidar tampoco conceptos decimonónicos íntimamente relacionados con la termodinámica tales como, por ejemplo, el de energía, que fueron sabiamente incorporados hasta constituir las piezas clave de los estudios y las nuevas teorías que consolidaron las "revolución meteorológica del S.XX". Si el desarrollo de la Meteorología había dependido (hasta la primera mitad del S.XIX) del desarrollo del mapa sinóptico, a partir de la segunda mitad hasta el S.XX la dependencia fué, además, hacia las ecuaciones que la Física decimonónica había introducido: esto marcó una perspectiva nue a donde a los logros descriptivos, se unen, como hemos antedicho, los logros explicativos físicos.

El punto culminante en la superación de la antigua y clásica teoría de las tempestades podemos localizarlo en la segunda década del S.XX con los postulados de la Escuela de Bergen sobre las borrascas y la introducción del concepto de masa de aire como un cuerpo aerológico tridimensional dotado de propiedades físicas indivicua-

les.

BJERKNES propone en su teoría que las borrascas son, con su movilidad, las determinantes de bruscos cambios del tiempo; recoge de este modo la tradición sinóptica que BRANDES había iniciado. Ahora bien, BJERKNES introduce una serie de elementos referentes a los mecanismos del desplazamiento de los ciclones y a su estructura, que marcan un profundo cambio: la evoluión del tiempo atmosférico es explicado en la borrasca por medio de unas nociones físicas y, simultáneamente, queda contemplado en una perspectiva inequívocamente tridimensional.

Como explica Sr.H.DANIEL (1973 p.223) "...Bajo la dirección del profesor WILHELM BJERKNES, asistido por los Sres. J.BJERKNES, T. BERGERON Y H.SOLBERG la Escuela de Bergen elaboró métodos revolucionarios para el estudio del tiempo, incluidas las masas de aire y los análisis frontales. Estos trabajos y su ulterior desarrollo por otros metereológos introdujeron la tercera dimensión en la práctica meteorológica, permitiendo aplicar a la predicción los principios termodinámicos e hidrodinámicos...". Efectivamente, BJERKNES señala el origen y la evolución de los ciclones templados que cruzan el Atlántico en el frente de contacto formado por conjuntos aerológicos de propiedades físicas significativamente diferentes; estas diferencias (localizadas en el frente térmico) inducen una energía potencial (*) que se convierte en energía cinética, es decir en aceleración del movimiento provocando una rotación ciclónica en su conjunto con ascendencia de un determinado sector (el cálido); esta ascendencia, utilizando las nociones físicas de trabajo-calor-estado de la materia, explica la condensación y la precipitación atmósferica. Por otro lado, el esquema de BJERKNES acepta en sus postulados y, como hemos dicho antes, responde más o menos adecuadamente no sólo a estas nociones físicas decimonónicas sino también a una concepción tridimensional de ese medio aéreo definido por un límite superior, la tropopausa, así como a una concepción de la troposfera como un ámbito "turbulento" donde el modelo de borrasca propuesto constituye un claro ejemplo de dicha turbulencia concebida como la consecuencia de una forma de energía procedente de otra forma de energía localizada en el frente térmico.

El desarrollo de teorías explicativas del tiempo atmosférico basadas, de alguna forma, en la energía in-

---

(*)Como dice M.MEDINA (1976 p.168) "...la energía de una borrasca ondulatoria procede de la diferencia de temperaturas entre sus sectores cálido y frío y de la pendiente de los frentes; sin embargo, no es despreciable el calor latente desprendido en la condensación, ni la energía cinética de los vientos..."

trínseca de la atmósfera (por contraposición a los estudios que parten directamente de la energía extrínseca) permitirá la obtención de numerosos y fecundos conceptos físicos explicativos sobre la evolución del tiempo. En este sentido, las aportaciones de los Noruegos, básicamente enraizadas con la Física decimonónica, permitieron no sólo completar la descripción del mapa sinóptico con el dibujo de los frentes (cuya concepción sugería por sí sola una "tridimensionalidad", ver SAWYER 1974 p.13, puesto que representan necesariamente planos y no líneas superficiales) sino que, además, permitieron conferir definitivamente ese inequívoco sentido físico y explicativo al mismo mapa sinóptico pués, al menos para las zonas templadas, lo que estos mapas sinópticos reflejaban yá no sólo era la descripción de un conjunto de valores fundamentalmente barométricos, era además la localización de masas de aire de cuerpos aerológicos con propiedades físicas particulares más o menos homogéneas y diferentes unos de otros. El mapa sinóptico deja de ser una descripción y pasa a ser una explicación. Así entendido, el mapa del tiempo cobrará un nuevo valor respecto a los mapas del tiempo de principios del siglo XIX (*).

### III.2.3.2. El desarrollo de la consideración de las leyes del movimiento.

Pero no sólo fué la Termodinámica: con el enunciado de las leyes sobre el movimiento y la fuerza gravitacional, la Física también ha prestado algunos de los "útiles" más valiosos y de mayor provecho a aquellos que se han preocupado por el contexto atmosférico tanto en su aspecto global, la Circulación General Atmosférica, como en los aspectos particulares y concretos representados por el tiempo. En un ámbito como la troposféra, caracterizado por el constante cambio, desplazamiento y agitación del aire, la Mecánica y la Dinámica de fluidos, en particular, está llamada lógicamente a detentar un papel fundamental a la hora de intentar comprender y aprehender dichos "cambios" y sus consecuencias, es decir comprender y aprehender ciertos procesos físicos de la evolución del tiempo atmosférico.

---

(*)Sobre uno de los nuevos y significativos elementos introducidos en el dibujo de los mismos, los frentes, SUTTON (1966p.107) ha escrito "...los frentes del meteorólogo no son sólo zonas de discontinuidades en las propiedades físicas del aire sino también regiones de 'tiempo concentrado' en cuyas inmediaciones se han de encontrar los rasgos más salientes de las borrascas. Con su ayuda podemos dar una explicación racional a la sucesión del tiempo observado durante el paso de una depresión...".

El planteamiento de las bases sobre las cuales se desarrolla la aplicación de las leyes del movimiento y la dinámica de fluidos al ámbito de la atmósfera (o, más correctamente, a la troposfera) fué establecido, según vimos, con antelación al planteamiento del otro conjunto de principios físicos que se utilizaron para acceder a la explicación de determinados procesos atmosféricos, es decir, con antelación al planteamiento de la Termodinámica, casi dos siglos antes, en el S.XVII, cuando ISAAC NEWTON llevó a cabo su obra, que tanta trascendencia ha tenido para la Ciencia Moderna y Contemporánea en general.

Según vimos los conceptos introducidos por NEWTON referidos a la gravedad, al movimiento, etc... tuvieron una plasmación rápida en la misma definición de la atmósfera así como en los modelos de Circulación General Atmosférica. Sin embargo, por lo general, sólo a partir de la mitad del S.XIX las posibilidades que ofrecían las concepciones y principios establecidos por la física newtoniana, fueron aprovechados y desarrollados no sólo para apoyar los procesos propuestos en los esquemas de circulación atmosférica sino, y por primera vez desde el S.XVII, para explicar ciertos fenómenos atmosféricos concretos observados concernientes a determinados aspectos de la evolución real del tiempo. Este retraso que muestra la utilización de los presupuestos newtonianos para la explicación del tiempo atmosférico respecto a la explicación teórica del funcionamiento de la circulación general (que prácticamente en el mismo S.XVII se habían hecho yá eco de las ideas de NEWTON) está de alguna forma en conexión con la tardanza mostrada por la superación de los planteamientos descriptivos en la consideración del tiempo atmosférico, aproximadamente en esa misma época (mediados del S.XIX), y el esbozo de lo que hemos denominado etapa explicativa-tridimensional .

De este modo, algunos de los carácteres típicos del movimiento del aire a gran escala cerca de la superficie terrestre, conocidos progresivamente desde mediados del S.XIX gracias a la utilización generalizada de los mapas del tiempo, comenzaron a ser explicados gracias a la consideración de procesos mecánicos en el contexto atmosférico real. Particularmente, la introducción de los planteamientos newtonianos para explicar ciertos fenómenos aerológicos que se presentan en la evolución cotidiana del tiempo atmosférico se ha ido concretando (hacia mediados del S.XIX según hemos dicho) a partir de la misma consideración del viento como una "aceleración del aire" y, como tal aceleración, producido por la intervención de una "fuerza" mensurable tal cual la que origina la componente horizontal del gradiente de presión atmosférica en el ámbito determinado donde se origina el

viento(*). Tomando como punto de partida esta premisa establecida sobre el origen del viento, se han hecho intervenir estas fuerzas también mensurables tales como las que resultan, una vez puesto en movimiento el aire; de la consideración de la rotación terrestre (ley de CORIOLIS y ley de conservación del torbellino absoluto basada en la experiencia del pendulo de FOUCAULT), la fuerza centrífuga en las trayectorias con una curvatura pronunciada, la fuerza de rozamiento ejercida por la mayor o menor rugosidad de la superficie terrestre, etc...

La reflexión y el estudio sobre estos hechos mecánicos en el contexto atmosférico fué dando a la descripción realizada por el mapa sinóptico un complemento explicativo netamente físico y científico; contribuyó, consiguientemente, a la formación de la etapa explicativa-tridimensional a la que nos hemos referido con anterioridad. Pero, además, permitieron construir, a su vez, una serie de conceptos físicos teóricos propiamente meteorológicos tales como el de viento geostrófico, viento ciclostrófico o viento del gradiente, etc... que, en su conjunto, han dado pié al inicio de la dinámica atmosférica, es decir, permitieron que la etapa explicativa-tridimensional en las concepciones del tiempo atmosférico madurase y se hiciese receptiva a otros conceptos posteriores de hidrodinámica pura (tales como el de vorticidad o el de convergencia/divergencia) que son fundamentales para la explicación de los sistemas dinámicos atmosféricos que producen el tiempo.

---

(*)Aunque en la atmósfera las variaciones de presión observables se dirigen principalmente en el sentido vertical, puede y suele existir no obstante una componente horizontal que, sin duda, es muy pequeña en comparación con la componente vertical en sentido estricto pero que, a diferencia de esta última, no se ve normalmente contrarrestada por otras fuerza como la de la gravedad. Por tanto, de acuerdo con la segunda Ley del movimiento de NEWTON, la aceleración del aire es predominatemente debida al gradiente horizontal de presión para la cual no existe aparentemente ninguna fuerza que, en principio, sea capaz de cotrarrestarla. Comentando estos hechos, SUTTON (1966 p.63) ha destacado esta característica del flujo atmosférico como un fenómeno "...de la mayor importancia en el desarrollo de la meteorología como una ciencia exacta...". Nosotros pensamos de igual modo porque, en parte, la introducción de los planteamientos físicos y científicos newtonianos (y, con ellos la introducción de la actitud explicativa en la consideración del tiempo atmosférico) ha partido precisamente de la constatación de esta realidad, por tanto, aparte del valor "físico" del planteamiento se añade un indudable valor "histórico".

Esta actitud explicativa respecto al tiempo atmosférico tiene uno de sus primeros y más relevantes exponentes en la ley de BUYS-BALLOT. Este meteorólogo demostró que el viento se desplaza casi siempre paralelamente a las isobaras o formando con ellas un débil ángulo, tanto más débil cuanto el viento sea más fuerte: el sentido del desplazamiento en nuestro hemisferio es tal que si un observador se sitúa de espaldas al viento las bajas presiones quedan aproximadamente a su izquierda y las otras a su derecha. Debemos de reconocer en los postulados de este meteorólogo holandés una de las piezas clave en el intento de aclarar la interdependencia entre viento y presión, labor que constituye uno de los puntos de apoyo más importante de la dinámica atmosférica. Las precedentes consideraciones sobre el viento llevadas a cabo por BRANDES o por DOVE venían a constituir descripciones única y exclusivamente referidas a las tempestades, es decir, a los ámbitos depresionarios; la ley de BUYS-BALLOT tiene un carácter de ley general, lo cual le proporciona gran parte del valor que posee en Meteorología pues se aplica no solamente a los movimientos atmosféricos alrededor de un centro de bajas presiones sino también a los que se producen alrededor de un centro de altas presiones, precisamente conjuga ambos; por otro lado, la ley de BUYS-BALLOT, al quedar remitida a una abstracción física del tiempo real como es el campo de presión, constituye un precedente fundamental de posteriores desarrollos de la Meteorología en los que las abstracciones físicas del tiempo atmosférico real constituyen el útil más provechoso para explicar el tiempo en su globalidad o aspectos parciales del mismo (el viento por ejemplo) (*). Las posteriores investigaciones de FERREL (con la publicación de un tratado sobre los vientos en 1881) sobre la mecánica matemática de la atmósfera (a pesar de que la obra de este americano ha sido destacada por sus referencias a la circulación general) habrán de constituir de algún modo el complemento de la ley de BUYS-BALLOT.

Estas aportaciones tuvieron para la explicación y la comprensión física de ciertos procesos del tiempo atmosférico una importancia trascendental; sin embargo, esta

---

(*)El hecho de hablar sobre el tiempo a partir de unos "dibujos" como los representados en un mapa barométrico, y nó a partir del mismo tiempo atmosférico observado directamente, es lo que constituye el proceso de abstracción, por supuesto de base física y científica, que permite además explicar y predecir. El desarrollo de la Meteorología en su faceta explicativa y científica precisamente se llevará a cabo a partir de procesos de abstracción de este tipo, totalmente necesarios, incluso imprescindibles, por la naturaleza compleja que presenta el problema del tiempo atmosférico.

importancia radicó en constituir un punto de partida para el desarrollo de la consideración de las leyes del movimiento y la dinámica de fluidos en el contexto atmosférico. Trás esos inicios se han sucedido al menos dos progresos espectaculares que, junto a las aportaciones en termodinámica antes vistos, constituyen los pilares sobre los que descansan las contemporáneas concepciones explicativas-tridimensionales del tiempo atmosférico. Esos dos avances se encarnaron, por un lado, en la personalidad de BJERKNES y, por otro lado, en la personalidad de ROSSBY.

En numerosos aspectos los dos teoremas de BJERKNES han supuesto una aportación fundamental a la hora de considerar los movimientos atmosféricos; en este otro aspecto también es preciso destacar el trabajo del meteorólogo noruego. Los dos teoremas de BJERKNES constituyen, por otro lado, un ejemplo notorio de cómo el desarrollo de las concepciones científicas y explicativas del tiempo atmosférico se ha nutrido de elaboraciones de la Física, en este caso concreto de la Física decimonónica: los trabajos de hidrodinámica pura de HELMHOLTZ y THOMSON conformaron los "útiles conceptuales" imprescindibles. El primer teorema hace referencia a los fenómenos que fuerzan al aire a moverse planteándo (*) este movimiento como un trabajo, es decir, se hace un planteamiento en términos de energía; esta novedad en la consideración del movimiento del aire (sustituyendo los fenómenos mecánicos por fenómenos energéticos) se infiere de la propia evolución de las Ciencias Físicas entre el S.XVII y el S.XIX, es decir, entre la Física newtoniana y la Física decimonónica la cual introduce el término energía tal y como expusimos. El segundo teorema hace referencia a las importantes consecuencias que tiene la rotación de la tierra una vez que el aire se ha puesto en movimiento (**).

---

(*)"...Si los gradientes de presión y de temperatura tienen direcciones distintas, se crea energía que fuerza al aire a circular en el sentido que lleva desde el extremo del vector gradiente de presión al del vector gradiente de temperatura, por el camino más corto..." (Ver MEDINA 1976 p.14).

---

(**)"...Si, una vez el aire en movimiento, consideramos un rosario de partículas que forman una curva cerrada cualquiera y el movimiento de cada partícula es tal que, en conjunto, la proyección de la curva cerrada sobre el plano del Ecuador disminuye su área (se contrae), dichas partículas adquieren un movimiento circulatorio a lo largo de la curva elegida, que es del mismo sentido que el de la rotación terrestre. Pero si dicha proyección aumenta su área (se dilata) con el movimiento, las partículas adquieren un movimiento circulatorio, a lo largo de la curva en cuestión, que es de sentido contrario al de la rotación de la Tierra..." (Ver MEDINA 1976 p.14).

La importancia de los dos teoremas de BJERKNES queda evidenciada especialmente por la trascendencia para lo que SUTTON denomina "dinámica de los sistemas del tiempo" (*). Si particularizamos, del segundo teorema se pueden obtener, entre otras consecuencias, nada más y nada menos que los fenómenos de convergencia y divergencia en los sistemas de bajas y altas presiones (Ver MEDINA 1976 p.19-21) que constituyen una aportación fundamental para comprender y explicar la evolución del tiempo en relación a los sistemas de presión desde un punto de vista, además tridimensional.

El desarrollo de esta "consecuencia del segundo teorema de BJERKNES", corrió a cargo de DINES quién expresó, a comienzos de este siglo, su conocido "principio de compensación de DINES" basándose en análisis estadísticos de las capas superiores troposféricas; y, posteriormente, a cargo de SUTCLIFFE quién, partiendo del anterior, dió una explicación cuantitativa en la "teoría del desarrollo de SUTCLIFFE" yá en 1947 (**). Las nociones de convergencia y divergencia asociadas a los fenómenos de ciclogénesis y anticiclogénesis fundamentales para los sistemas dinámicos del tiempo se consolidaron y en esta dirección

---

(*)Ver SUTTON 1966 p.112. Según este mismo autor (1966 p.212) la ciencia de la Meteorología se ocupa de las transformaciones de energía en la atmósfera: "...el ciclón constituye un ejemplo de la transformación de energía potencial en energía cinética (...) Después del paso de una borrasca el aire caliente de poca densidad se encuentra encima del aire más pesado. El sistema ha perdido energía potencial que adquirió originariamente del Sol, pero ha ganado energía cinética con el aumento de la fuerza del viento...". En estos términos de SUTTON debemos valorar las aportaciones termodinámicas y dinámicas de BJERKNES.

---

(**) En las regiones donde las columnas de aire presentan valores isobáricos bajos (tienden a disminuir la presión) existe ascendencia y "mal tiempo". Efectivamente SUTCLIFFE mide el desarrollo (D) por la diferencia entre la divergencia (sentido matemático) de vientos entre dos niveles, uno de superficie y otro a determinada altura; si D es positivo significa que la divergencia en altura es superior a la que existe en superficie, por tanto el aire (por el principio de comparación de DINES) tiende a ascender y tiene lugar la ciclogénesis. En los mismos términos explica también SUTCLIFFE la anticiclogénesis que es el caso contrario al anterior. El desarrollo no es otra cosa que la conversión de energía potencial en energía cinética.

las concepciones explicativas-tridimensionales sobre el tiempo atmosférico manifestaron un fuerte impulso en su desarrollo que, sólo actualmente, con la perspectiva histórica, podemos valorar en su justa medida.

Pero si las aportaciones de DINES, de SUTCLIFFE, de BEJERKNES, fueron imporantes, no menor trascendencia tuvieron los trabajos de ROSSBY y de la Escuela de Chicago para el desarrollo de las concepciones explicativas-tridimensionales del tiempo atmosférico. Aunque entre 1920 y 1945, trás las teorías de la Escuela Noruega, la utilización de los datos térmicos, higrométricos y barométricos de altura iba en aumento, aunque el uso del radiosonda se llevó a cabo particularmente desde 1940 permitiendo el análisis basado en el tefigrama, sin embargo, la aceptación generalizada de la importancia de los niveles troposféricos superiores sobre la evolución del tiempo en superficie debería esperar algunos años, a estos trabajos que ROSSBY y sus colaboradores llevan a cabo en 1947 y 1949.

Evidentemente, en las décadas anteriores a estas fechas de mediados del S.XX se gestó el ambiente propicio para la aceptación definitiva de la importancia de los niveles superiores, aunque nó el descubrimiento y la interpretación correcta de los hechos que confirmaban dicha importancia y ello, tal vez, porque la influencia ejercida entre 1920 y 1945 por la teorías de la Escuela de Bergen hizo poner todo el énfasis sobre las masas de aire, los frentes y las borrascas noruegas. Sólo encontramos algunos precedentes lejanos e inciertos que apuntan hacia esa concesión de papel capital a los niveles superiores: uno de esos precedentes lo tenemos a finales del S.XIX en una teoría sobre los ciclones que se desarrolla en contraposición a la clásica "teoría de tempestades" de la que antes hemos hablado, nos referimos a la teoría encabezada por el astrónomo francés FAYE (1887), recogida y sostenida, también, por el que fuera Exdirector del Instituto Central Meteorológico A.ARCIMIS (1913 p.186) quién se expresa con las siguientes palabras: "...esta teoría que cuenta con poquísimos partidarios (...) supone que el origen de los tornados, y también de los ciclones, hay que buscarlo en las regiones superiores, en la de los cirros, donde el aire camina con velocidades extraordinarias, y donde pueden formarse, como en los ríos, remolinos de eje vertical que descienden hasta la superficie de la tierra...".

A partir de ROSSBY (1947-1949) se abre un nuevo período en la interpretación de los hechos que dominan la evolución del tiempo atmosférico y en la prognosis del mismo, aspectos invariablemente ligados en la Meteorología científica. El descubrimiento de la corriente en

chorro (*) y el esclarecimiento de su significado para los procesos atmosféricos, por parte de ROSSBY, tuvieron una impronta en las concepciones sobre el tiempo cuyo único parangón puede residir en los trabajos de la Escuela de Bergen, casi treinta años antes y en los primeros balbuceos de la Meteorología científica con la asociación de la evolución del tiempo a la observación del barómetro o la observación de los mapas sinópticos.

ROSSBY fue el primero en demostrar matemáticamente que las corrientes de aire pueden originar grandes oscilaciones (ondas) lentas como resultado de la conservación de la vorticidad absoluta unida a la variación de la componente vertical del giro de la Tierra con la latitud. Asimismo señaló los efectos de los fenómenos de convergencia y divergencia horizontal sobre la vertical absoluta (casos en que el radio de rotación de las columnas de aire varían). Sobre la constatación de estos hechos, por un lado, y, por otro, con la consideración de ese fenómeno aerológico recientemente descubierto, la corriente en chorro, ROSSBY llegó a alcanzar el reconocimiento definitivo de la trascendencia de las condiciones dinámicas de la troposfera superior (por donde discurre el Jet Stream) sobre la evolución del tiempo atmosférico en superficie y, en general, sobre lo que SUTTON (1966 p.112) denomina la dinámica de los sistemas del tiempo. "...En 1939, en un artículo célebre, ROSSBY puso de manifiesto -nos dice PEDELABORDE en 1957- que las variaciones de circulación zonal determinan los trazos de situaciones sinópticas en la zona templada. En 1947 explica estas variaciones por las velocidades del Jet Stream (...). Hoy las nociones de 'circulación rápida' y 'lenta' se han hecho clásicas incluso cuando los autores no admiten las concepciones más modernas de ROSSBY. La alternancia de los dos tipos presenta el carácter de un ciclo que permite explicar las variaciones del tiempo y del clima a todas las escalas..." (PEDELABORDE 1957 p.81).

Con ROSSBY se alcanzó una explicación puramente dinámica de la corriente de chorro precisamente gracias a su estudio matemático de la turbulencia. Se advierten los procesos estrictamente físicos que sustentan la presencia y características del Jet el cual no es otra cosa que el fenómeno resultante, en principio, de la existencia localizada, allí por donde discurre, de una forma de energía, la energía cinética, desarrollada en la zona templada a partir de la turbulencia horizontal desencadenada por los

---

(*)Esta recibe variadas denominaciones. Una de ellas, debida al que fuera meteorólogo del observatorio de Cartuja en Granada, A.DUE ROJO, es la de "río aéreo", expresión que, de algún modo, nos evoca las ideas antes aludidas de FAYE.

ciclones extratropicales los cuales, a su vez, se configuran asociados a una serie de contrastes térmicos y dinámicos en el seno del medio aerológico sobre la zona templada, contrastes regidos en altura por el Jet.

Según dijimos las tesis de ROSSBY han permitido situar, al menos en las latitudes medias, los fenómenos cotidianos del tiempo como los únicos agentes protagonistas que realizan la Circulación General Atmosférica. Y ello ha sido posible porque ROSSBY consiguió apreciar con una perspectiva global los procesos físicos y energéticos que subyacen a las situaciones diarias del tiempo. Las concepciones explicativas y tridimensionales del tiempo atmosférico, basadas en todo un bagaje de conceptos estrictamente físicos y en la proliferación de las observaciones de altura, alcanzan en este momento un reconocimiento integral.

Fué ROSSBY quién llegó a conceder a los niveles troposféricos superiores el protagonismo que indudablemente detentan, poniendo paralelamente de relieve la importancia de aquéllos procesos físicos estrictamente dinámicos (frente a los termodinámicos) en ese contexto aéreo, lo que supone una aportación principal y una innovación capital. Sobre estas bases y, trás describir y explicar los rasgos más significativos de la circulación de altura, ROSSBY establece el fenómeno de acción rectora que determina: de tal modo, los mapas de los niveles troposféricos altos, por donde discurre esa pieza clave que es el Jet, adquieren, para la explicación y la predicción del tiempo en superficie, ese interés inusitado y fundamental que previamente a los trabajos de ROSSBY no existía.

La perspectiva tridimensional que alcanza la contemplación del tiempo de superficie viene, por tanto, definitivamente reafirmada por estos avances teóricos que se dieron poco antes de la mitad del S.XX.

Vemos que, desde el S.XVI hasta el S.XX con ROSSBY, se ha producido una ininterrumpida evolución en la explicación científica de esa compleja realidad que es el tiempo atmosférico y, asímismo, se han hecho posibles los avances paralelos en la predicción meteorológica. A la observación empírica, objetiva e instrumental, especialmente a través del barómetro, sucedió la elaboración de mapas de tiempo o mapas sinópticos, después se advirtieron las relaciones entre los campos de presión y los vientos así como la relación entre las configuraciones isobáricas y el tiempo en general (las perturbaciones y los centros de acción), se identificaron posteriormente las distintas masas de aire y los frentes y se llegó a advertir la trascendencia de la circulación de los niveles superiores de la troposfera: los avances más recientes han sido de índole teórica con la elaboración de

modelos que han incluido las ondas de ROSSBY, la inestabilidad hidrodinámica del flujo zonal y la definición de las atmósferas barotrópica y baroclímica, y de índole técnica, con la utilización de satélites y la introducción de computadoras que han hecho posible la predicción numérica (PEÑA y SCHNEIDER 1982 p.222).

El desarrollo de la predicción científica del tiempo se ha sostenido, pues, gracias al desarrollo del empleo de los "útiles" instrumentales y a la incorporación paulatina de una serie de fenómenos aéreos a cuyo descubrimiento ha sobrevenido el reconocimiento y la comprensión de su funcionamiento en la atmósfera y la fundamentación física. La concepción científica del tiempo se ha ido enriqueciendo de este modo con la inclusión, principalmente, de procesos físicos atmosféricos termodinámicos y dinámico (*).

---

(*)El conocimiento más exhaustivo y profundo de las situaciones sinópticas y de los procesos físicos ha permitido a su vez una evolución desde lo que PETTERSSEN llama pronósticos basados en la experiencia del predictor a los pronósticos basados en estadísticas, que precisan una colección amplia de situaciones sinópticas diarias, y a los pronósticos basados en las ecuaciones de la Física donde, basándose en las leyes de Newton y en el primer principio de la Termodinámica, se establecen ecuaciones matemáticas que establecen una relación entre el estado actual de la atmosféra y la velocidad a la que dicho estado cambia (predicción numérica (PETTERSSEN 1976 p.431).

## IV. EL CONTEXTO DE APLICACION DE LOS CONCEPTOS Y ELABORACIONES DE LA FISICA Y DE LA METEOROLOGIA A LA INTERPRETACION DEL CLIMA. LA FORMACION DEL CONCEPTO DE CLIMA COMO UN OBJETO DE ESTUDIO NUEVO

Dijimos en un apartado anterior que el término clima ya mostraba una acepción ambiental en la Edad Moderna. Pero la generalización de esta acepción ambiental es mucho más reciente y vino, en lo fundamental, promovida por la utilización que de ella hizo un sector de estudios científicos para designar y englobar ciertas realidades físicos-naturales que habían sido obtenidas a partir de la observación empírica de la atmósfera, tales como la distribución de los ambientes térmicos en el planeta o en una región; sin duda, en el interés que suscitaron aquellos estudios sobre los condicionamientos atmosférico-ambientales estuvo el éxito y la consolidación de la nueva acepción de clima que fué adoptada para darles denominación.

Pero el contexto que recoge la acepción ambiental del clima y logra generalizar su uso constituyó un marco sustancialmente diferente al contexto (donde se produjo el tropo) que lo empleó con anterioridad de manera excepcional y aislada: se trata de un contexto diferente debido a que el término clima, por primera vez, designando al conjunto de fenómenos temperamentales terrestres, pasaba a constituir un objeto expreso de estudio; en consecuencia el uso de la acepción ambiental no se podía constituir yá en casos aislados ni excepcionales de tal manera que, a partir del momento en que es adoptada por este nuevo contexto y pasa a conformar un objeto de estudio explícito, llegó a esbozarse inmediatamente una primera definición de clima, en torno a la cual habría de tener su punto de partida y su desarrollo de Climatología.

Y se trata de un contexto diferente, en segundo lugar, porque el término clima pasó, también por primera vez, a ser conceptualizado y manejado por un sector estrechamente conectado con el quehacer de la Nueva Ciencia y, más concretamente, de la Física Moderna: en la nueva acepción de clima se dejaría entonces sentir irremediablemente el sello característico del proceder de la Física Moderna: las condiciones ambientales pasan, de ser fenómenos sensoriales apercibidos subjetivamente (cuando nó intuitivamente), a constituir variables físico-aerológicas y mediciones empíricas y objetivas; los fenómenos climáticos se constituyen como fenómenos atmosféricos. Esto es lo que dará a la actividad recién iniciada de la Climatología su carácter de Ciencia, situada en la encrucijada de los fenómenos aerológicos-ambientales y los condicionantes físico-naturales en general y atmosféricos en particular.

Estas circunstancias que concicionaron el éxito y la consolidación de la nueva acepción de clima (la acepción ambiental) originaron e impulsaron la necesidad de distinguir con claridad entre los dos usos del término: el uso antiguo que se refería a las zonas terrestres situadas entre paralelos y el nuevo uso que aludía al temperamento de los lugares y regiones. Este problema quedó resuelto (por aquellos mismos que recogieron el tropo) diferenciando el "clima astronómico" de lo que designaron como "clima físico". Sin duda no pudo haber otro adjetivo (físico) que significara con mayor nitidez y contundencia el nuevo empleo que, en este contexto, le aguardaba el término clima; la defincián que hicieron del mismo disipa cualquier duda a este respecto; a continuación recogemos la que hizo MALTE-BRUN y la de HUMBOLDT.

"...La palabra clima, tomada en su acepción más general, sirve para señalar -dice HUMBOLDT- el conjunto de variaciones atmosféricas que afectan nuestros órganos de una manera sensible, a saber: la temperatura, la humedad, los cambios de presión barométrica, la calma de la atmósfera, los vientos, la tensión más o menos fuerte de electricidad atmosférica, la pureza del aire o la presencia de las miasmas más o menos deletéreos, y por último, el grado ordinario de transparencia y de serenidad del cielo. Este último dato no influye únicamente sobre los efectos de la irradiación calorífica del suelo, en el desarrollo orgánico de los vegetales y la madurez de los frutos, sino que también en la moral del hombre y la armonía de sus facultades..." (HUMBOLDT,a. 1874 T.I. p.301). La expresión "variaciones atmosféricas", trás leer los párrafos anteriores y posteriores al que hemos citado, puede hacer referencia a variaciones en el espacio, en vez de variaciones en el tiempo.

El geógrafo MALTE CONRANDO BRUN (MALTE-BRUN) hacia 1810-1829 nos dice: "...El clima físico comprende el calor, el frío, la sequedad, la humedad y la salubridad de que goza un punto cualquiera del globo. Nueve son las causas del clima físico: 1.la acción del sol en la atmósfera, 2.la temperatura interior del globo, 3.la elevación del terreno sobre el nivel del Océano, 4. el declive general del terreno con sus exposiciones locales, 5. la situación de sus montañas con respecto a los puntos cardinales, 6. la proximidad de los grandes mares y su situación relativa, 7. la naturaleza geológica del suelo, 8. el grado de cultura y de población a que han llegado los paises, 9. los vientos que en ellos reinan..." (MALTE-BRUN Geografía Universal o descripción de todas las partes del mundo T.II p.672). En una antigua obra de ADRIEN BALBI, adoptada por la Universidad francesa, se comenta acerca de esta definición:"...Estos climas físicos, muy diferentes a los climas astronómicos, son partes de la tierra, raramente zonas terrestres, donde reinan

igual calor y fenómenos atmosféricos más o menos similares..." (BALBI,A 1838 p.10).

La evolución semántica del término clima nos conduce a estas definiciones que recogen los nuevos significados. Tal y como se deduce de ellas, las realidades climáticas serán concebidas a partir de ahora como realidades geográficas; además podemos observar cómo, en este contexto científico que define y utiliza el término "clima físico", los fenómenos climáticos se conexiona, por primera vez, con la atmósfera, esto se aprecia especialmente en la definición de HUMBOLDT. De este modo el campo semántico del término meteoro y el del término clima llegan a establecer en el S.XIX una primera relación que no se detendrá ahí, proseguirá en sucesivas etapas dando lugar a una vinculación entre la Climatología y la Meteorología, y a una dependencia de ambas respecto a la Física en General y la Física de la "Atmósfera en particular, que prestará sus "útiles teóricos", conceptuales e instrumentales para el avance de estas dos disciplinas.

Por otro lado el concepto de "clima astronómico" es asimismo reconvertido de tal modo que pasa, de tener una funcionalidad cartográfica (Edad Antigua), a constituir un "factor" más de los climas físicos.

El término clima físico ha variado, sin embargo, desde la centuria pasada hasta la actualidad para convertirse hacia los años sesenta-setenta del presente siglo, por un lado (y manteniendo la misma denominación de "clima físico"), en un concepto referido a una serie de procesos que se pueden obtener a partir de las Ciencias Físicas y que tienen lugar en la consideración del sistema climático. Por otro lado el término clima ha variado, también, en el sentido de convertirse en lo que nosotros (intentando hacer expresiva la denominación) vamos a conocer con el nombre de "clima meteorológico", es decir un clima conceptualizado según la definición de J.HANN. Pero estas dos derivaciones lingüísticas, que acabarán abrogando el concepto anterior, las vamos a analizar en los próximos apartados, por exigencias y comodidad de su redacción.

## IV.1. LA CONSIDERACION DE LOS HECHOS CLIMATICOS A FINALES DE LA EDAD CONTEMPORANEA. LA DEFINICION DE "CLIMA FISICO" Y LA PREFIGURACION DE LA CLIMATOLOGIA

Como hemos anticipado, en la Edad Contemporánea se generaliza no sólo la acepción ambiental del término clima sino, además, se generaliza un entramado de novedades en la consideración de los hechos climáticos. Estas novedades son las que hacen de éste un período distinto y, simultáneamente, fundamental: junto a esas novedades, además, las consideraciones sobre hechos climáticos son objeto de un especial interés y una atención

inaudita que potencia un desarrollo y una proliferación de las mismas como hasta entonces no se había conocido.

Este conjunto de renovaciones se lleva a cabo, fundamentalmente, a partir de dos polos que ahora se conjugan por primera vez:

El primero queda constituido por la dimensión explicativa que adquiere la contemplación y el análisis del Medio Natural en torno a los momentos iniciales de la Edad Contemporánea; los interesados en el estudio de éste, fundamentalmente los naturalistas, comienzan a exigir el análisis algo más que clasificaciones de formas y especies (las cuales habían sido la principal preocupación del S.XVII-XVIII) y se inquietan por buscar causas y efectos, relaciones explicativas, en una visión dinámica de la Naturaleza; lógicamente esto justifica, motiva e, incluso, alienta el interés por los fenómenos ambientales y climáticos que se reconocen (problablemente desde LAMARCK) como factores determinantes del Medio Natural.

Sin embargo, la aproximación al contexto aerológico yá no podrá ignorar el cúmulo de realizaciones (en cuanto a forma y a contenidos) que, a este respecto, elaboró la Edad Moderna. La base de realizaciones ofrecidas por la Ciencia Moderna constituye el otro polo fundamental.

Si el primero justifica el interés por los fenómenos aerológicos, este segundo sugiere y motiva un modo de proceder y de entender a los mismos. Analicemos de forma más detallada tanto uno como otro.

A. En primer lugar tenemos la **dimensión explicativa que adquiere la contemplación y el análisis del Medio Natural:**

La época de finales del S.XVIII y comienzos del S.XIX coincide con una transformación epistemológica general. En este contexto se establece, por un lado, un "sistema de positividades nuevo" cuya incidencia en el campo del conocimiento geográfico en general es fundamental; y se establece por otro lado, una serie de "racionalidades explicativas", entre las que cabe contar las racionalidades geográficas; todo ello representa para J.GOMEZ, J.MUÑOZ y N.ORTEGA algunos elementos básicos de lo que estos autores denominan como "claves definitorias del proyecto científico decimonónico". La Historia, el Hombre y.la relación Naturaleza/Naturaleza humana son los elementos básicos de ese sistema de positividades que es nuevo porque el orden temporal de las cosas, el orden humano y las relaciones de este con el orden natural constituyen, efectivamente, hechos inéditos. La asunción de estas nuevas realidades (nuevas positividades) es el punto de partida para la estructuración de unas formas de aproximaciòn a las mismas: dicha aproximación, que se

lleva a cabo como un conocimiento científico, conforma las "racionalidades explicativas decimonónicas" (GOMEZ, MUÑOZ, ORTEGA 1682 p.20-25).

En este marco que dá cabida a las "nuevas positividades" y a las "racionalidades explicativas" del S.XIX, es donde tiene lugar y justificación el ascenso del Historicismo y de las Ciencias Naturales que acompaña al desarrollo de los estudios de la superficie de la Tierra bajo unas perspectivas noveles que incidirán en la conformación de una concepción dinámica de la Naturaleza.

Según BERNAL (1967 p.428) "...la idea de que la tierra tiene una larga historia no es nueva. De hecho (...) empezó a cobrar forma en el S.XVIII y su aceptación solamente se retrasó por los principios clericales de principios del S.XIX. Con esa teoría empezó a comprenderse que los animales fueron en otras épocas muy distintos de los actuales, y la obvia consecuencia de que las últimas formas proceden de las antiguas. Sin embargo las pruebas que se habían ido acumulando a todo lo largo del S.XIX por la experiencia de la construcción de canales y ferrocarriles hacía muy difícil una explicación diferente. Al propio tiempo, el mayor conocimiento de la distribución y clasificación de los animales y plantas existentes hizo que la idea de una creación especial pareciera cada vez más arbitraria...".

Con la transformación epistemológica de finales del S.XVIII a principios del XIX no cesa, por tanto, la atención al medio natural: al contrario, se potencia, aunque cobra un nuevo interés y, en cierto modo, se renueva y se modifica: la concépción inmovilista de la Naturaleza, en cuyo seno son admisibles las clasificaciones estáticas de sus elementos, tales como las elaboradas por LINNEO, BUFFON, etc... en el S.XVIII, cambia hacia una concepción evolucionista. El abandono de las concepciones inmovilistas de la Naturaleza a favor de una perspectiva histórica y dinámica tiene un gran interés para nosotros puesto que trae aparejadas, necesariamente, el abandono correlativo de las clasificaciones o descripciones meramente enumerativas a favor de las descripciones comprensivas, es decir, a favor de unas descripciones que tienen en cuenta la dimensión temporal y las interrelaciones espaciales de las realidades de la Naturaleza; la idea de la Creación, que cobija las concepciones inmovilistas de la Naturaleza parapetándolas de cualquier evidencia explicativa, es abrogada precisamente por el reconocimiento de que, en primer lugar, la Naturaleza no es algo que viene dado sino que está sometida a la evolución y, en segundo lugar, la Naturaleza muestra una distribución de grupos de seres que no es arbitraria sino reveladora de una serie de relaciones y de leyes que subyacen y explican esas distribuciones.

La nueva orientación de las Ciencias Naturales a finales del S.XVIII y principios del XIX, en este contexto de finales del S.XVIII y principios del XIX, suscita, como hemos visto, consideraciones estrechamente vinculadas al quehacer geográfico y repercute de manera evidente en lo que VILA VALENTI (1983 p.74) denomina período de formación de la Geografía Contemporánea:
"...El considerable avance de las Ciencias Naturales nos permite hablar de un desarrollo naturalista (...) la influencia de los especialistas en los estudios de la Naturaleza en los geógrafos empieza a observarse a finales del S.XVIII y a principios del XIX. Se trata individualmente de naturalistas o viajeros de formación naturalista que se interesan por la Geografía (...) o de geógrafos cartógrafos que van valorando y acogiendo los avances de las Ciencias naturales...": pero, sigue VILA, "...Hemos de señalar que el desarrollo de las Ciencias Naturales sobre la Geografía ejerce una influencia no sólo sobre los contenidos sino también sobre los métodos y las hipótesis de trabajo de los geógrafos...".

Una personalidad suficientemente representativa de estas perspectivas noveles con que se afronta el análisis naturalista de la superficie terrestre es A.VON HUMBOLDT. Significativamente, con él la contemplación y el análisis del medio natural adquiere también esa dimensión explicativa que abona el terreno para dar pie a las nuevas consideraciones sobre hechos climáticos, tán características de este período que afronta el naturalismo decimonónico. Y HUMBOLDT es representativo porque en su obra se plantea expresamente el rechazo al tratamiento que se había dado durante el S.XVIII a la Ciencia de la Naturaleza y, al mismo tiempo, se adscribe a esa visión del medio natural que parte de la dimensión temporal y las interrelaciones espaciales: por un lado, acepta y defiende, bajo diversos aspectos, la Naturaleza como sujeto de la evolución y, por otro lado, reconoce la existencia de leyes que subyacen a la distribución espacial de las realidades naturales. Como afirma H.CAPEL (1981 p.10-11) "...al menos desde 1794, HUMBOLDT consideraba yá como insatisfactorio todo el sistema científico del XVIII, basado en la realización de clasificaciones, el cual había llevado en Historia Natural a las clasificaciones de LINNEO, TOURNEFORT o BUFFON. Se trataba de una concepción que, en definitiva, consideraba la Naturaleza como inmóvil, y aceptaba la posibilidad de aceptar una clasificación estática de sus elementos (...) HUMBOLDT pertenece yá por esta visión histórica y dinámica de la naturaleza a la nueva era científica, la que en el S.XIX conducirá a ese descubrimiento fundamental de la ciencia contemporánea que es el evolucionismo. Frente a la Naturaleza concebida como algo estático y contínuo, como hacía en general la ciencia del XVII, HUMBOLDT vé claramente que hay que considerar la historia de las plantas, la historia de la Tierra, la evolución de nuestro plane-

ta, reflejada en las plantas y en los organismos fosilizados. Por otra parte frente a la concepción espacial de los naturalistas preocupados por las taxonomías (...) HUMBOLDT plantea el problema de comprender las relaciones que unen en un mismo espacio a fenómenos y elementos aparentemente inconexos o cuya conexión no puede deducirse de un sistema taxonómico...".

Esta preocupación por la "conexión de fenómenos" en HUMBOLDT es de especial interés para nosotros porque tiene mucho que ver con la introducción de consideraciones sobre hechos climáticos tanto en cuanto al clima se le hacía responsable de una diversidad espacial de condiciones que incidían positivamente en la distribución de seres o grupos de seres en la superficie del globo.

Respecto a esta preocupación por las interrelaciones, reproduciremos una parte de la carta que HUMBOLDT envía a FRIEDLANDER desde Madrid el 18 de abril de 1789 antes de su partida al Nuevo Continente: "...Dirijida una mirada al continente que pienso recorrer desde California a Patagonia ¡Como me deleitaré en esta naturaleza grande y maravillosa! (...) Coleccionaré plantas y animales; estudiaré y analizaré el calor, la electricidad, el contenido magnético y eléctrico de la atmósfera; determinaré longitudes y latitudes geográficas; mediré montañas, por más que esto no sea la finalidad del viaje. Mi verdadera finalidad es investigar la interacción conjunta de todas las fuerzas de la Naturaleza, la influencia de la Naturaleza muerta sobre la creación animal y vegetal animadas..." (Carta reproducida de HUMBLODT en Del Orinoco al Amazonas).

Este proyecto de HUMBOLDT manifiesta una evidente pretensión de comprensión global de la Naturaleza. La obra del alemán, y especialmente una parte importante del Cosmos, se corresponde precisamente con el intento de llevar a la práctica este novedoso proyecto de "Geografía Física" profundamente arraigado en el naturalismo desde finales del S.XVIII: "...el objeto final -dice HUMBOLDT- de una geografía física es sin embargo, como lo hemos enunciado más arriba. reconocer la unidad en la inmensa variedad de los fenómenos, en medio de sus variaciones aparentes..." (HUMBOLDT 1874 T.I p.45). Después escribe:

"...El principio fundamental de mi libro, tal como lo he desarrollado hace más de veinte años en lecciones explicadas en francés y en alemán, en París y en Berlín, es la tendencia constante de recomponer con los fenómenos el conjunto de la naturaleza; de mostrar con los grupos aislados de estos fenómenos las condiciones que les son comunes; es decir, las grandes leyes porque se regula el Mundo, y hacer ver, por último, como del conocimiento de estas leyes se llega al lazo de causalidad que las une entre sí. Para lograr desenvolver el plan del Mundo y el

orden de la Naturaleza, es necesario comenzar por la generalización de los hechos particulares, por investigar las condiciones en que se reproducen uniformemente los cambios físicos. De este modo llegamos a una contemplación reflexiva de los materiales suministrados por el empirismo, y no a 'miras puramente especulativas, ni a un desarrollo abstracto del pensamiento, ni a una unidad absoluta independiente de la experiencia'.Digámoslo una vez más; aún estamos muy lejos de la época en que podamos lisonjearnos de que todas las percepciones sensibles compongan una idea única que abrace el conjunto de la Naturaleza. El verdadero camino se había yá trazado, un siglo antes de FRANCISCO BACON, y señalado en pocas palabras por LECNARDO DA VINCI : "cominciare dell'esperczenza et per mezzo di questa seoprine la ragione". Existe, a la verdad, grupos numerosos de fenómenos, cuyas leyes empíricas debemos contentarnos con descubrir; pero el objeto más elevado, y que se ha alcanzado menos veces, es la investigación de las causas que ligan entre sí todos los fenómenos. No se llega a completar evidencia sino cuando es posible aplicar a las leyes generales el método matemático. Unicamente para ciertas partes de la ciencia puede decirse con verdad que la descripción del Mundo es la explicación del Mundo; porque generalmente hablando estos dos términos no pueden aún considerarse como idénticos..." (HUMBOLDT 1874 T.III p.9-10).

En su pretensión de comprensión global, HUMBOLDT dá cabida, entre otros, a los fenómenos climáticos, haciéndoles intervenir para permitir la comprensión y explicación del cuadro general de la Naturaleza y, más particularmente, determinadas leyes que subyacen a la distribución de grupos de seres. La importancia que detenta estos proyectos naturalistas para el desarrollo de la consideración de los hechos climáticos es, por esto, fundamental; la contribución de HUMBOLDT, con la elaboración de sus mapas isotérmicos (*) constituye un caso ejemplar a

---

(*)Como dice H.CAPEL (1981 p.12-13) "...el estudio de las interrelaciones en el espacio suponía, por otra parte, el análisis de la distribución espacial de los diferentes fenómenos. De hecho, otro aspecto interesante de la aportación de HUMBOLDT es la utilización de ciertos métodos cartográficos que, en ocasiones siguen todavía en vigor. Es lo que ocurre, por ejemplo, con la utilización de isolíneas. A partair de una idea de HALLEY sobre el magnetismo, HUMBOLDT fue el primero en unir mediante líneas los puntos que poseían la misma temperatura (isotermas) así como las temperatauras veraniegas (isoterales) e invernales (isoquimenales), calculando también en el informe científico de su viaje a Asia Central, las amplitudes térmicas. En su trabajo sobre las líneas isotermas y la distribución del calor en el globo, propuso el sistema de representación aún utilizado...".

este respecto, aunque reconoce que: "...en la física del globo, la innumerable multitud de cuerpos organizados que embellecen la creación, es considerada más bien por zonas de habitación, por bandas isotérmicas de inflexiones diferentes (...). Sin embargo, la botánica y la zoología (...) ofrecen materiales sin los cuales el estudio de las relaciones y del enlace de los fenómenos no tendría sólido fundamento..." (HUMBOLDT 1874 p.45).

Estos planteamientos que evidencian un tratamiento nuevo y un interés de orden superior en las consideraciones sobre hechos climáticos, vinieron consiguientemente promovidos por la dimensión explicativa que adquiere la contemplación y el análisis del medio natural y de la superficie terrestre en los inicios de la Edad Contemporánea, contexto donde se incardina HUMBOLDT.

Pero no es HUMBOLDT ni el primero ni el único que impulsa el conocimiento de los hechos climáticos, aunque, probablemente, tuvo un papel trascendental. Del mismo mismo modo que la orientación explicativa tomada por las Ciencias Naturales, desde finales del S.XVIII (donde se cobija el interés por las interrelaciones espaciales y la dimensión temporal de las realidades naturales) no se limita a HUMBOLDT, así también la ruptura producida, con respecto a la Edad Moderna, en la consideración de los hechos climáticos se encuentra en otros naturalistas e, igualmente, en multitud de historiadores interesados por la Geografía y, también, en geógrafos corógrafos que se ven, todos, inevitablemente influenciados por los avances de las Ciencias Naturales y por las directrices del pensamiento recogidas en el proyecto científico decimonónico donde se sitúa este avance del naturalismo.

De tal modo, esta actitud explicativa que permanece ahora al abordar el análisis del Medio Natural bajo cualquier aspecto (sea bajo consideraciones globales, sea bajo consideraciones del mismo como escenario de la Historia, sea en la línea corográfica, etc...), conduce frecuentemente a la consideración del hecho climático, aunque provista con una diversidad de matices en cada caso que, sin duda, enriquecen las perspectivas sobre el clima.

Un caso relevante dentro de aquellos autores de formación histórica que introducen diversos conceptos y elementos de las Ciencias Naturales puede ser concretado en CARL RITTER quién también trata de las conexiones, aunque en este caso son las relaciones (planteadas en términos de causalidad) entre hechos físicos y humanos las que interesan: de tal modo la superficie de la tierra pasa a constituir el escenario de la actividad humana. RITTER llevó a cabo una clasificación de los continentes haciendo unas divisiones en regiones naturales basadas en la orografía: posteriormente, en cada una de las divisio-

nes efectuadas se trataban diversos aspectos que han seguido siendo clásicos en el método geográfico entre los cuales tiene cabida el clima: relieve, clima, producciones principales, población, así como la evolución histórica si se conoce, y las etapas de exploración y descubrimiento (Ver CAPEL 1981 p.41-76, especialmente 46-7 y 67).

Por otro lado, para las obras de Geografía Universal no pasaron inadvertidos, en la mayor parte de los casos, estos avances de las Ciencias Naturales. El deseo de comprensión de las realidades naturales motivó en estos casos concretos, también, la consideración de los hechos climáticos y de los ambientes climáticos. Para no hacer exahustivas e interminables las referencias señalaremos, por último, a MALTE BRUN quién, en una obra de Geografía Universal, dedica una pequeña parte de su atención al aspecto de la Geografía Física del Globo:

"...Pasando enseguida al cuadro físico del globo, contemplaremos los grandes rasgos de la naturaleza, las montañas que curzan la superficie de la tierra, los mares que la ciñen, los rios y valles que la surcan; descenderemos a las cavernas y minas, nos inclinaremos al borde del humeante cráter; en una palabra, estudiaremos la estructura del globo. Conocidos yá los movimientos de la atmósfera y la ley de temperaturas, destribuiremos en sus regiones natales a los frutos y vegetales, a cuantos seres alimenta el inagotable seno de la tierra, acabando por considerar al hombre con su estado natural y político..." (MALTE-BRUN T.I p.89). Bajo este marco donde se explicitan algunas de las intenciones de la obra, MALTE-BRUN desarrolla su noción de clima físico, hace un "bosquejo de la Climatología" y se atreve con una clasificación de los climas localizando cada una de las variedades, que se obtienen de la consideración del calor y de humedad, en las regiones terrestres donde son más representativas (MALTE-BRUN p.672-688).

Hemos hecho alusión a uno de los más importantes hitos en la Historia de la contemplación de la Naturaleza por parte del pensamiento humano: la sustitución de las concepciones inmovilistas del S.XVIII, por las perspectivas evolucionistas del S.XIX donde se inscribe el reconocimiento de que las realidades naturales están sometidas a una sucesión temporal y a un orden espacial; no vienen dadas por una mano creadora sino que aparecen trás una historia más o menos larga, y se distribuyen evidenciando una serie de interrelaciones o conexiones entre fenómenos.

Este contexto, donde tiene lugar el Naturalismo y el Historicismo, queda sustentado por la ampliación de las afirmaciones de la física newtoniana al contexto de la naturaleza y de la sociedad. Como explican J.GOMEZ,

J.MUÑOZ y N.ORTEGA (1982 p.23-4). "...Los planteamientos y los resultados de la física newtoniana pasan a ser consideradas como afirmaciones sobre todo el conjunto de la naturaleza y de la sociedad. Y como se suponía que el objetivo fundamental de toda ciencia positiva es desentrañar explicativamente las regularidades legales de los fenómenos considerados, lo que conlleva entender -en estricta coherencia con el proceder de la mecánica newtoniana- el principio de determinación causal como un requerimiento pragmático de la propia ciencia, la generalización de la racionalidad científica fisicista implantaba una consideración de la naturaleza y de la sociedad que tendía a identificar a éstas con complejas maquinarias compuestas por elementos cuya dinámica obedece a estrictas leyes de causalidad. (...). El determinismo decimonónico es, ante todo, una exigencia -y una garantía- de la cientificidad del discurso...".

Este es el marco donde hemos situado el avance de las consideraciones sobre hechos climáticos. En un contexto donde cobra tanta importancia la determinación de tipo causal es lógico que el aspecto del clima más interesante se circunscriba, tal y como hemos visto, en torno a las condiciones de habitación (*), a las condiciones ambientales o temperamentales. Estas consideraciones sobre el ambiente climático tuvieron, por todo esto, un enorme desarrollo (por lo menos desde LAMARCK) asegurándose de este modo el establecimiento del interés por el clima y por los fenómenos climáticos desde la perspectiva de las interrelaciones espaciales en el Medio Natu-

---

(*)Las "condiciones de habitación" suelen hacer referencia a condiciones medias de calor o de calor y humedad. En otras ocasiones hacen referencia a valores extremos: a este otro tipo de condición alude en todas las ocasiones DARWIN: las siguientes citas son, creemos, significativas: "...Juega papel importante el clima para determinar la producción numérica en una especie, siendo las temporadas periódicas de sequedad o de frío extremados los frenos más eficaces para moderar ese desarrollo..."; pero después comenta "...cuando viajamos de sur a norte, o de una comarca húmeda a otra seca, invariabalemente notamos que determinadas especies van haciéndose cada vez más raras hasta que al cabo desaparecen. Siendo notorio en tales circunstancias el cambio de clima, nos sentimos inclinados a atribuir a su intervención todo ese efecto..." (DARWIN, 1963 p.122-3). Sin embargo, DARWIN afirma que esta opinión es falsa si no es tenida en cuenta la acción de "los competidores" y las condiciones de favorecimiento climático que permita un mayor o menor número de estos.



ral (*), en unas ocasiones a escala global (HUMBOLDT), en otras ocasiones a escala regional (RITTER), pero siempre motivadas por la intención de comprender y explicar esas interrelaciones: se trata del proceso de formación de la Climatología, denominación que comienza a aparecer para designar el tratado de estos hechos relativos a las condiciones de habitación; se trata también de la generalización del uso del término clima con significados ambientales.

B.En segundo lugar, decíamos que estaba la base de realizaciones ofrecidas por la Ciencia Moderna.

No cabe duda de que esta dimensión explicativa adquirida por la contemplación y el análisis del medio natural desde las postrimerías del S.XVIII no basta para explicar en toda su magnitud y representatividad la ruptura producida en la consideración sobre los hechos climáticos prácticamente desde los inicios de la Edad Contemporánea. En este sentido, la base de realizaciones ofrecida por la Ciencia Moderna, constituye un segundo hecho de suma importancia pues, como yá hemos anticipado, la aproximación al contexto aerológico que se incardina en la búsqueda de interrelaciones entre fenómenos en la superficie de la Tierra (impacto del historicismo y del naturalismo en la contemplación de la Naturaleza, y período de formación de la Geografía) no podía estar de espaldas al cúmulo de logros, tanto formales como en contenidos, construidos en la Física Moderna.

Es más, nos atrevemos a afirmar que estas realizaciones llevadas a cabo en el análisis del medio natural durante los comienzos de la Edad Contemporánea (entre las cuales se encuentra la Climatología) no se pueden concebir sin los fundamentos generales que establece el período Moderno, pues estos proporcionan una plataforma de elaboraciones indispensables para el punto de partida de dichas realizaciones y, más concretamente, para el nuevo punto de vista o nueva consideración de los hechos climáticos desde finales del S.XVIII.

Fué este "espíritu científico" el que, según advertíamos en su momento, redujo la Filosofía de la Naturaleza a Ciencia Física, por un lado, y, por otro, a Ciencia exacta; bajo estas circunstancias la consideración científica de las condiciones de habitación se llevará a cabo a partir de entonces como una elaboración física basada

---

(*)Aunque también desde la perspectiva de la evolución de esos ambientes climáticos en el tiempo: cambios geológicos del clima (Ver DARWIN 1963 Parte 3, Cap.,XI p.21-90, sobre todo p.85-6; y 1985 p.119) ó períodos de glaciación.

en observaciones métricas. Esto es de suma importancia, pues confiere a la Climatología (como tratado científico de los hechos relativos a las condiciones de habitación) unas características definitorias a las cuales, el quehacer de esta disciplina, deberá en todo momento responder.

Efectivamente, entre otros, hay un hecho que evidencia la huella del espíritu científico ("útiles teóricos") en las consideraciones de hechos climáticos: se trata de elaboraciones físicas (pues tratan de Física del Globo y utilizan elementos de la Física Moderna) basadas en observaciones exactas y métricas. Y, junto al valor que adquiere la observación métrica, toma correlativa importancia la pretensión de inducción de leyes empíricas expresadas numericamente. Esta pretensión que, en vinculación con la utilización de observaciones métricas, queda perfectamente manifiesta en las primeras realizaciones climáticas (concretamente en los mapas de isotermas realizados por HUMBOLDT en 1817) es otro estandarte representativo de aquel espíritu científico moderno que aún permanece; y se encuentra además en vinculación o dependencia con la Física: **"...el sistema de las líneas isotermas, isoteras e isoquímenas, que yá propuse en 1817, -dice HUMBOLDT- podrá quizas prestar una base cierta a la climatología comparada, si los físicos consienten en reunir sus esfuerzos para perfeccionarla..."** (HUMBOLDT 1874 T.I p.306). Esta encarnación del espíritu científico en las nuevas consideraciones sobre los hechos climáticos alcanza con HUMBOLDT un desarrollo importantísimo aunque, también es cierto, en este alemán la encarnación del espíritu científico no sólo se produce en las consideraciones sobre hechos climáticos sino en la globalidad de fenómenos del conjunto de la Naturaleza.

Pero, nó sólo cabe destacar entre las realizaciones de la Edad Moderna el "espíritu científico", es decir, los fundamentos o "útiles teóricos": lo que denominábamos "útiles conceptuales" ocupan igualmente un lugar trascendental. Naturalmente, estos útiles conceptuales de la Edad Moderna dimanaron fundamentalmente del contexto de la Física. De tal modo, el legado de la Edad Moderna no se redujo a la pretensión de cientificidad y a la valoración del método matemático encaminado a la obtención de leyes empíricas, sino que ejerció una serie de conceptos físicos válidos expresados yá en forma de leyes que servían a esas pretensiones y a esos fines.

Determinadas concepciones físicas (especialmente las relacionadas con el movimiento, la presión y el calor) y determinadas concepciones físico-atmosféricas (es decir, las elaboracciones alcanzadas trás haber aplicado al entendimiento e interpretación del contexto aéreo los presupuestos de la Física Moderna) yé empezaron a ser prohijadas ahora para las consideraciones sobre las condiciones temperamentales de la habitación en la superfi-

cie terrestre. Sin duda sirvieron para hacer comprensibles estos hechos climáticos y, al mismo tiempo, para explicarlos de forma que la base de las argumentaciones fuese acorde con el contexto científico donde debían ser aceptadas y asumidas.

En cuanto a contenidos, la novedad que se presenta en las consideraciones de hechos climáticos llevadas a cabo en torno a los inicios de la Edad Contemporánea reside, precisamente, en esta incorporación de los conceptos y leyes físicas para penetrar en el conocimiento del medio natural (a diferencia de HALLEY cuya principal pretensión fué el conocimiento teórico de la atmósfera). Así, cuando MALTE-BRUN intenta trazar un "bosquejo de climatología" establece las características locales del clima físico sobre una serie de causas astronómicas y geográficas en una buena parte fundamentándose y argumentando leyes o hechos desvelados por la Física: llama la atención, de forma especial la alusión que MALTE-BRUN hace al calórico (citando a LAPLACE, a LAVOISIER, a PREVOST, etc...) y, particularmente la referencia al calórico latente y al calórico radiante, para explicar las condiciones de caldeamiento de la atmósfera (*).

Igualmente, son interesantes a este respecto las consideraciones sobre los diferentes comportamientos térmicos de océanos y continentes (el papel de termostato del mar es destacado desde entonces) así como de diferentes suelos en función de su naturaleza, de tal modo que unos se calientan y pierden rápidamente el calor adquiri-

---

(*)"...Según parece el aire no adquiere inmediatamente por el paso de los rayos solares un alto grado de calor, como se ve por el enfriamiento sucesivo de las capas de aire que se ha observado en todas las montañas. La distinción entre el calórico libre que calienta las moléculas y el calórico latente que las dilata, nos induce a concebir que los rayos caloríficos pasan mas libremente por el aire superior, mas exento de gases y menos comprimido, y que por el contrario cuanto mas condensado esta el aire, mas detenidos, repetidos y reflejados se hallan los rayos en muchas direcciones, y mas fuerte es el choque de los dos fluidos, siendo además muy probable que el desprendimiento de calórico latente, causa principal del calor sensible de nuestra atmósfera, procede de semejante choque. Sin embargo, lo que más contribuye a calentar el aire inferior es la reflexión de los rayos que dan en la tierra y repelidos hacia la atmósfera se detienen en su parte inferior, quedando por decirlo así encerrado entre los vapores sevosos de que esta impregnada. Esta reflexión acumula necesariamente el calórico en ciertas regiones próximas a la superficie terrestre. No cumple ciertamente explicar ahora la teoría recién expuesta del calórico..." (MALTE-BRUN p.672-3).

do mientras otros lo retienen durante más tiempo. Estas últimas nociones, aplicadas al medio natural, entroncan y, de algún modo, recogen también las primeras experiencias de la Física del XVIII sobre calorimetría.

Pero probablemente es en la obra de HUMBOLDT donde podemos encontrar un planteamiento de los hechos naturales y, en su seno, de los hechos climáticos, con una fundamentación más audaz y madura en las leyes de la Física y en las elaboraciones de los que se dedicaban a la Física atmosférica y a la Metecrología. Yá RICHTHOFEN supo dar una valoración a este hecho comentándonos: "...El genial investigador, a partir de observaciones propias, abarcó los fenómenos en toda su extensión sobre la superficie de la Tierra (...) Con respecto a VARENIUS, tuvo él la ventaja de que los fundamentos científicos generales se habían desarrollado ampliamente y que su época supo entenderle..." (RICHTHOFEN 1978 p.52). Tengamos presente que la aportación de HUMBOLDT al conocimiento de las temperaturas sobre la superficie del globo no sólo tuvo el mérito de abrogar definitivamente las antiguas concepciones sino, además, lograrlo por medio de una argumentación basada en los hechos derivados de una ley física, concretamente, dice HUMBOLDT, de la facultad de absorber los rayos solares y el poder de irradiar calórico, las cualidades absorbentes y emisivas para el calor y para la luz (HUMBOLDT 1874 T.I. p.299-300) que cada uno de los tipos de materia componentes de la superficie terrestre posee: "...La acción de todas estas causas reunidas, de aquellas sobre todo que dependen de las relaciones de extensión y configuración de las masas opacas (los continentes) y de las masas diáfanas (los mares) determinan las inflexiones de las líneas isotermas proyectadas sobre la superficie terrestre..." (HUMBOLDT 1874 T.I p.305).

Sin duda alguna las realizaciones del viajero alemán brillaron con luz propia y no sólo destacan hoy a nuestros ojos, sino que yá tuvieron una fuerte impronta sobre sus coetáneos que frecuentemente acudieron, a la hora de hacer consideraciones sobre el clima, a las realizaciones por él introducidas. Este hecho, perfectamente constatable, nos sugiere la importancia y el éxito que, como antes hemos señalado, tuvieron los planteamientos de leyes y hechos físicos en las consideraciones sobre el clima y los fenómenos climáticos, aspecto en el que HUMBOLDT marcó todo un pauta.

Muestra de la importancia que alcanzan las consideraciones de HUMBOLDT es el hecho de que fuese recogido en diversos y numerosos casos. Por poner un ejemplo citaremos las reflexiones de ese divulgador científico que fué L.FIGUIER quién, en su obra La terre et les mers destinada a enseñar la Geografía según se afirma en el prólogo, recoge de HUMBOLDT, entre otros aspectos, el de la inci-

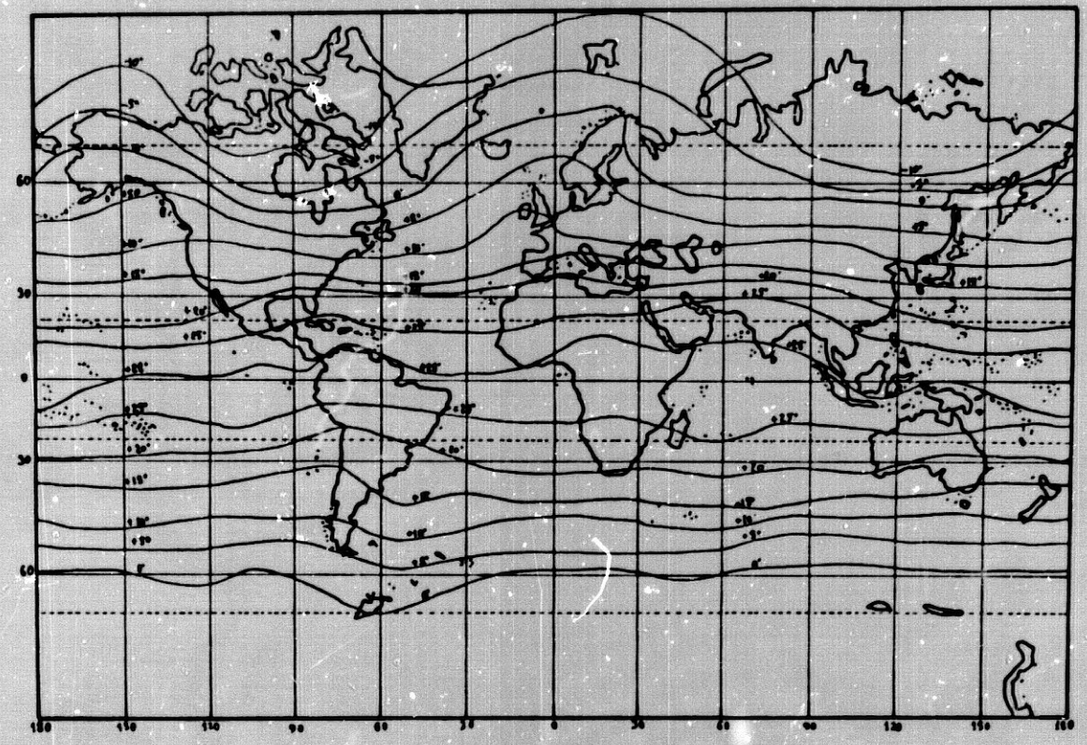


Figura 2.: Mapa de isotermas sobre el globo según HUMBOLDT modificada por trabajos posteriores

FUENTE : FIGUIER (1864)

dencia que tiene la desigual distribución de tierras y mares sobre la distribución de las características térmicas sobre la superficie de la Tierra. También FIGUIER siguiendo la línea marcada apoya sus propias reflexiones sobre una conocida ley física, y un útil conceptual prestado por la Ciencia Moderna, para contribuir a la explicación y descripción parcial del hecho climático aludido: "...la interposición de aguas hace variar considerablemente la temperatura del aire. El agua se calienta en superficie mucho menos que las tierras porque la cantidad de calórico necesario para elevar 1 grado la temperatura de una capa de agua es mucho más considerable que la que basta para elevar en la misma cantidad una igual capa de materia terrosa..." (FIGUIER.L. 1864 p.183).

Por supuesto, el planteamiento de fenómenos y leyes desvelados por la Física en la consideracionhes sobre hechos climáticos llevados a cabo con este contexto de los comienzos de la Edad Contemporánea no se redujo ni a las personalidades que hemos aludido ni al aspecto que hemos destacado (el referido al calor) aunque sí sean tal vez los más importantes. Hemos querido explicitar sólo algunos ejemplos concretos que, en ciertos casos (HUMBOLDT), son de especial interés por su significación y por su repercusión; con ellos basta para mostrar como la Física Moderna prestó alguna de sus elaboraciones propias a las elaboraciones sobre el clima y, con ello, confirió un cariz novel e inédito a las mismas, que es el tema de nuestro interés ahora.

De este contexto de aplicación de los presupuestos de la Ciencia Moderna a la interpretación del medio aéreo destaca por otro lado una elaboración indispensable para las nuevas consideraciones sobre los hechos climáticos: **la concepción física de la atmósfera.**

En diversas obras de los primeros años de la Edad Contemporánea que tratan, de forma más o menos profunda, los hechos climáticos y los climas físicos, llama la atención la alusión a ciertos fenómenos atmosféricos para explicar las condiciones de distribución del calor, fundamentalmente, en la superficie de la Tierra. Este análisis resulta novedoso tanto en cuanto es la primera vez que se aplican los presupuestos de la Física y de la Física Atmosférica (desvelados en los dos siglos precedentes) para penetrar en el conocimiento del medio natural (proyecto típicamente decimonónico como dijimos en los párrafos precedentes).

De los diversos ejemplos que se pueden expresar en este sentido hay dos dignos de mención: las alusiones a las diversas variaciones que sufren las características de la envoltura gaseosa planetaria conforme ascendemos en su seno, y los desplazamientos horizontales más importan-

tes y regulares, sobre todo aquellos que se advierten en las capas inferiores de la atmósfera. El primero suele plantearse en conexión, lógicamente, con la elevación del terreno: en razón de su altura se explica como las montañas sufren en sus propias cimas o en las mesetas una serie de cambios climáticos, especialmente reflejados en un descenso de la temperatura (*). El segundo suele plantearse en conexión con la existencia de cadenas montañosas o fachadas continentales y hace referencia a condiciones de exposición de ciertos ámbitos respecto a determinados vientos cuyas características particulares, debidas al lugar donde se han originado y al trayecto seguido, explican las peculiaridades climáticas de esos ámbitos bien expuestos a donde llegan (**).

La introducción de estos "útiles conceptuales" de la Física Atmosférica, así como los que prestó la Física en general, hace factible la dimensión explicativa dando de este modo unos nuevos contenidos a las consideraciones

---

(*)"...La ley que sigue el decrecimiento del calor en diferentes latitudes, a medida que la elevación aumenta, es de altísima importancia para la meteorología, y no interesa menos a la geografía de las plantas, o a la teoría de la refracción terrestre y a las diferentes hipótesis en que se funda la evaluación de la altura de la atmósfera. Por esto el estudio de esta ley ha sido siempre uno de los principales objetos de mis investigaciones, en las numerosas agresiones de montañas que he verificado, en las regiones próximas y apartadas de los trópicos..." (HUMBOLDT T.I. p.313).

---

(**)Ver MALTE-BRUN p.676-7. También son interesantes a este respecto las consideraciones sobre dos causas de la distribución de las temperaturas en la superficie del globo o las consideraciones particulares sobre las diferencias térmicas entre las fachadas Orientales y Occidentales de los continentes en HUMBOLDT Cosmos T.I. p.303-305 o en T.I p.306: "...Los alisios (vientos del Este en la zona tropical), producen remolinos o contracorrientes que imprimen la dirección Oeste ó Oeste-Sud-Oeste a los vientos reinantes de las zonas templadas; son pués, estos últimos vientos, terrales relativamente a una costa oriental, y vientos marítimos respecto de una costa occidental. Ahora bien, no siendo la superficie del mar tan suceptible de enfriarse como la de los continentes a causa de la enorme masa de aguas y de la precipitación inmediata de las partículas enfriadas, resulta de aquí que las costas occidentales deben ser más cálidas que las costas orientales, siempre que no venga a modificar su temperatura alguna corriente oceánica..."

que ahora se llevan a cabo sobre los hechos climáticos. Pero puede advertirse que el planteamiento de estos "útiles conceptuales" puede y suele hacerse en conexión con las características geográficas de la superficie de la Tierra: el planteamiento del calórico en conexión con la naturaleza del terreno, sea mar o sea tierra (sea un tipo de suelo u otro), el planteamiento de los movimientos horizontales en el seno de la atmósfera en conexión con las características topográficas de exposición o de abrigo respecto a los mismos (sea el nivel del mar, sea un valle bajo, una meseta o las elevadas cimas de una montaña), etc...

Estos contenidos que dejarán endeudada la noción de clima físico con la Geografía y con la Física en la posteridad, están yá muy cercanos a los de nuestra Climatología Tradicional. Podríamos afirmar que yá se ha producido un notable giro en el tratamiento y consideración de los hechos climáticos; los fenómenos climáticos han pasado de ser la anécdota descriptiva hecha por viajeros y exploradores a constituir fenómenos físicos particulares suceptibles de ser entendidos y explicados a través de unas leyes, es decir, suceptibles de ser objeto de un tratado científico: la Climatología.

Por lo que hemos visto hasta ahora, las realizaciones de la Edad Moderna desempeñaron un papel fundamental en la configuración de las novedades que observamos en las consideraciones sobre hechos climáticos llevadas a cabo en el marco de los inicios de la Edad Contemporánea. Pero aún queda por destacar junto a los útiles teóricos y a los útiles conceptuales un tercer aspecto: los útiles instrumentales.

Un análisis que se pretendía a sí mismo como científico no podía prescindir, en la medida de lo posible, del acto empírico de la observación cuantitativa, exacta, objetiva, en la que fundamentar apropiada y correctamente sus descripciones y sus argumentaciones. En este sentido, la Edad Moderna también legó dos fuentes que serán recogidas y potenciadas en la Edad Contemporánea:

En primer lugar, las observaciones llevadas a cabo en los viajes, fundamentalmente por exploradores, conquistadores y comerciantes, pasaran a ser realizadas pero, ahora, por personas adecuadamente preparadas y dotadas con instrumentos de medición apropiados, de tal modo que se hace yá necesaria una distinción entre el viaje y la expedición científica.

En segundo lugar las observaciones llevadas a cabo durante los S.XVII y XVIII esporádicamente por las primitivas estaciones meteorológicas que, igualmente, fueron utilizadas y promovidas por la Edad Contemporánea. Como afirma ALBENTOSA, las mismas observacciones llevadas a

cabo por la Sociedad Meteorológica Palatina, antes aludidas comenzadas en los últimos años de la Edad Moderna, constituyeron el arsenal de información que utilizara HUMBOLDT, entre otros (ALBENTOSA, 1975 p.181).

El desarrollo de las consideraciones sobre los hechos climáticos y sobre el clima se hizo totalmente dependiente de este acto empírico de la observación de la atmósfera. El espíritu del mismo puede identificarse con el que promovía a los Físicos de la Edad Moderna en su búsqueda de las leyes sobre el calor, el movimiento, etc...sólo que este caso el laboratorio donde se efectuaban las mediciones era la atmósfera.

Una vez incorporados a las concepciones sobre hechos climáticos toda una serie de presupuestos teóricos y los útiles conceptuales de la Física Moderna, el trabajo por desarrollar era eminentemente práctico y consistió en la realización adecuada de observaciones y su correcto tratamiento para que el número ingente de datos fuese reunido en unos pocos valores: las medias aritméticas. Esto hace que, desde ahora, las elaboraciones sobre el clima parezcan un trabajo simple de estadística. Naturalmente, este modo de proceder estaba justificado y alentado por una concepción estática del fenómeno climático.

El término "clima" llega a constituir un lugar común al que se acudirá frecuentemente, sobre todo las diversas perspectivas que pretendieron una aproximación descriptiva y explicativa del medio natural. De este modo incluso se había esbozado el fenómeno climático como un objeto de estudio que yá fué merecedor de la atención de los antiguos, pero ahora se recoge y se remoza a partir de la base de realizaciones de la Nueva Ciencia y, así, llegará a constituir, en su momento, un objeto de estudio totalmente novel. Es en este contexto donde, por otro lado, no sólo se extiende el uso de esta acepción ambiental del término clima sino, además, donde se llega a dar una primera definición de "clima físico" y donde, también, inicia su andadura y se prefigura el tratado del mismo: la Climatología.

### IV.1.1. El concepto de clima físico

Principalmente a través de las realidades térmicas es de donde surge la distinción esencial entre un clima astronómico (en otras ocasiones también llamado clima matemático) y un clima físico, una distinción que prolifera sobre todo a finales del S.XVIII y principios del S.XIX (poco después de los trabajos de J.BLACK sobre calorimetría) en las obras naturalistas y en los tratados de Geografía que precisaban, para sus fines particulares, promover y argumentar dicha distinción: con ello se alentaba la condición geográfica del clima: "...Los climas

físicos -dice BALBI en su Abrégé de Geographie de 1838-, muy diferentes de los climas astronómicos, son partes de la tierra, raramente zonas terrestres, en las cuales reinan un mismo calor y fenómenos atmosféricos poco más o menos similares..." (BALBI, 1838 p.10).

Este tropo, del cual hablábamos anteriormente, se habría consumado cuando su uso llegara a generalizarse suficientemente, y decíamos que la generalización del nuevo uso del término clima debió aguardar a un contexto concreto que podemos localizar a partir de las postrimerías del S.XVIII y se encarna de una forma muy representativa, como hemos visto en el apartado anterior, en las obras de corte naturalista, y especialmente en la obra de esa gran personalidad que es HUMBOLDT.

Este punto de partida: la latitud y su relación con el calor (donde toma auge el nuevo concepto de clima físico por su contraposición al clima astronómico), determinó probablemente el hecho comentado de que, con el término clima, se aludiese preferentemente al orden relacionado con las realidades térmicas. Esto, que es muy importante para comprender los contenidos y significados del clima como objeto de estudio en este contexto, sucede en diferentes tratados de los más diversos autores de esta época preocupados por el estudio del clima físico y, cómo nó, sucede en la obra de HUMBOLDT, concretamente en el Cosmos:

Cuando el alemán enumeró "Los principales fenómenos que caracterizan la atmósfera" distingue cuatro hechos (HUMBOLDT, 1874 T.I. p.293-325 y especialmente p.296) cuyo orden nosotros hemos variado con el único propósito de acomodarlos a nuestra redacción: de los cuatro sólo uno se enuncia en relación con el clima, el referido al calor. Veámoslo:

A. "Las variaciones de la presión atmosférica", referidas en principio a las oscilaciones horarias del barómetro, aunque también se aluden con posterioridad a las oscilaciones mensuales, se explican en función de la latitud, de las estaciones y de la altura, así como en función de la distribución de tierras y mares; y se conectan con la temperatura, con la humedad y con los vientos, dando cabida por una parte a los desplazamientos de masas de aire y a los enfrentamientos entre las mismas, bajo las concepciones de DOVE, y por otra parte a los fenómenos monzónicos.

B."La distribución de la humedad", explicable en función, también, de la distribución de tierras y mares, de la distancia al Ecuador y de la altura sobre el nivel del mar, se conecta con las precipitaciones a las que los vapores acuosos dan lugar, cuyas variaciones, a su vez, se explican en base a la temperatura, la dirección y el

orden de sucesión de los vientos, dando cabida de nuevo a las concepciones de DOVE.

C. "El estado eléctrico de la atmósfera" que lo conecta con la ascensión de vapores acuosos en la atmósfera contemplando así la frecuencia de la formación de nubes y de tormentas en el tiempo y en el espacio.

D. "La distribución de **los climas y el calor**", conectada con la posición relativa de las masas diáfanas y opacas y de la configuración hipsométrica de los continentes, aunque también se alude después a otros hechos: la latitud, como punto de partida, la exposición ante ciertos vientos, o las corrientes marinas, para explicar la posición geográfica y la curvatura de las isotermas en el sentido horizontal y vertical.

Estos hechos, junto con otros tales como la constitución química del aire o las variaciones que experimenta su diafanidad, su coloración y la manera con que polariza la luz (HUMBOLDT, 1874 p.293-4) se reconocen "**...íntimamente ligados entre sí por una dependencia mútua...**" y se les hace pertenecer a "**...la segunda envuelta de nuestro planeta, la exterior y universal, es el Océano aéreo, en cuyos bajios (mesetas y montañas) habitamos...**" (HUMBOLDT T.I. p.293). Los climas pasan a constituir un objeto de especial atención, y no sólo en la obra de HUMBOLDT, también en la de otros muchos; yá son concebidos definitivamente en el contexto de la atmpósfera aunque aún parecen representar sólo un aspecto físico particular de ésta restringida a aquellos fenómenos relacionados exclusivamente con la distribución del calor o de la temperatura.

En estas circunstancias la Climatología se había construido sólo parcialmente porque, de hecho, el tratado del clima no se restringe a la distribución de las temperaturas ni a la contraposición clima físico/clima astronómico. Y, sin embargo, HUMBOLDT, quién suele ser reputado como el padre de la Climatología Moderna (PETTERSSEN, 1976 p.397) y, así mismo, haber sugerido el nombre de la Climatología, sólo habla de ésta en su Cosmos cuando aborda el estudio de la distribución del calor atmosférico.

Ahora bien, aunque la identificación del fenómeno climático y del fenómeno térmico es un hecho constatable en diversos autores de los inicios de la Edad Contemporánea, tenemos que, en determinados casos, cuando clima físico y temperatura se identifican, por temperatura se entiende el temperamento o conjunto de condiciones de un territorio respecto de su temperatura, sequedad y salubridad. De este modo, cuando MALTE-BRUN aborda el estudio de la "temperatura local de la atmósfera, o climas físicos" entiende por clima físico y, consiguientemente,

también por temperatura: "...el calor, el frío, la sequedad, la humedad y la salubridad de que goza un punto cualquiera del globo..." (MALTE-BRUN p.672).

Lo que en la contraposición clima físico/clima astronómico se circunscribía al fenómeno calorífico, puede llegar a hacerse extensivo, con el desarrollo propio de la noción de clima físico, a otros fenómenos que se encuentran asociados en la realidad y en las exigencias del estudio; la contraposición clima físico/clima astronómico tiene sentido en función del sustrato geográfico: y las propiedades que despide el sustrato geográfico hacia la capa superficial del medio aéreo, donde habitan las plantas, los animales y el hombre, son fundamentalmente características térmicas (su actividad en este sentido se comprueba con las inflexiones de las isotermas), pero son, también, características higrométricas, en base a la constatación de la diversidad de condiciones que impone un medio geográfico donde alternan mares y continentes, zonas costeras, lacustres o de pantanos y zonas de tierras secas, áridas e interiores. El clima o el temperamento, entonces, viene a asimilarse a una especie de exhalación de la superficie terrestre, con diferentes calidades o características según la constitución de ésta: así concebido, el clima (cálido y húmedo; cálido y seco; frío y húmedo, frío y seco) se puede llegar a utilizar como un elemento a través del cual la constitución del sustrato geográfico imprime o determina las formas de la vegetación, las especies animales y el tipo de carácter del hombre (bilioso, flemático, sanguíneo o melancólico): estas concepciones cualitativas antiguas son retomadas ahora por personalidades como KANT; sin embargo no se encuentran muy desarrolladas por los naturalistas y los geógrafos, aunque, por ejemplo, MALTE-BRUN las aude.

La concepción del clima en conexión con la superficie de la tierra también se puede utilizar a través de planteamientos cuantitativos y, más estrictamente, físicos y atmosféricos, es decir, a través de planteamientos científicos bajo los cuales se completa la esencia geográfica del fenómeno temperamental o climático.

Para acabar de desentrañar los contenidos que el clima físico presenta creemos conveniente advertir que en realidad no es nuevo: en cierto modo, se identifica con el objeto de las consideraciones hipocráticas sobre los hechos climáticos (aunque por entonces no eran llamados de esa forma), ya que la definición de clima físico en este contexto se centra en el temperamento, en las condiciones aeroambientales de habitación sobre la superficie de la Tierra. Este es el sentido principal que adquirieron las consideraciones sobre el clima por ejemplo en LAMARACK, o en MALTE-BRUN, etc...e, incluso, en las elaboraciones de HUMBOLDT cuando trata sobre "las distribu-

ción de los climas y del calor" las cuales, paradógicamente, se llevan a cabo a espaldas de la definición "sensu lato" de clima por él mismo dada.

Lo que sí es nuevo en este contexto de la concepción del clima físico es la forma de aproximarse a ese objeto de estudio:

En primer lugar porque, al análisis de los hechos climáticos (del temperamento) prohijado de la Antigüedad, se le imprime un innegable espíritu científico: las elaboraciones se llevan a cabo a partir de unos presupuestos (útiles teóricos) que habían sido establecidos por la Nueva Ciencia y hacían abocar al establecimiento de leyes generales y métricas: como dice H.FLOHN la propuesta de una "Climatología teórica" arranca del propio HUMBOLDT en 1845 (FLOHN 1970 p.279).

En segundo lugar porque, estas elaboracciones se realizan, a diferencia de todo lo anterior, aprovechando en la mayor parte de los casos (en aquellos en que era posible) los útiles instrumentales como medios para la observación de esas realidades temperamentales sensibles para los seres vivos; de tal modo la información recopilada para el estudio del clima no está constituida por apreciaciones cualitativas y subjetivas sino por una anotación numérica y objetiva.

Finalmente, en tercer lugar, porque la forma de aproximarse a este objeto de estudio (al temperamento) que yá había sido establecido en la Antigüedad, presenta elementos inéditos tanto en cuanto se acepta la condición geográfica en conexion con los fundamentos físicos y atmosféricos que se habían empezado a encontrar ahora en las realidades aerológicas: las leyes establecidas por la Física Moderna, especialmente las relacionadas con la calorimetría, y, por otra parte, las leyes establecidas para la Física Atmosférica, sobre todo aquellas referidas a la mutación que los valores físicos de la atmósfera sufren conforme ascendemos en su seno a través de una montaña y las referidas a la alteración de estos valores físicos por los movimientos horizontales en la atmósfera, asociados a la circulación general, portadores de unas características térmicas, higrométricas, etc... de su punto de partida y de su trayecto.

Por tanto, aunque el objeto de estudio fuese similar, la manera diferente de aproximarse a él y los medios nuevos con que ahora se contaba para ello, origina unas realizaciones también distintas y, desde luego, más desarrolladas. Si a esto añadimos el mejor conocimiento de la Tierra, gracias al desarrollo de los viajes desde el S.XV, puede comprenderse que, además de mejor desarrolladas, pudieran estar provistas de una pretensión de globa-

lidad de la que carecían en la Edad Antigüa (*).

A este respecto son ejemplares las elaboraciones donde se llevan a cabo clasificaciones climáticas pero de todo el globo, las de MALTE-BRUN (p.684-699), por ejemplo, y sobre todo las elaboraciones de HUMBOLDT sobre las temperaturas, donde esta serie de nuevas posibilidades se plasman en la realización del mapa de isotermas de la superficie de la Tierra.

De este modo, en las consideraciones sobre hechos climáticos, probablemente no es la concepción del objeto de estudio lo que ha evolucionado con respecto a las elaboraciones hipocráticas de la Antigüedad, sino las realizaciones sobre el mismo.

Concluyendo, la descripción del hecho climático, atendiendo al mapa de isotermas de HUMBOLDT, ha ganado en tres aspectos: en objetividad (expresión métrica), en globalidad (expresión planetaria y comparada) y en expresividad (representación cartográfica); por otro lado, el planteamiento del hecho climático también ha ganado pués, como hemos dicho, no sólo se reconoce su condición geográfica como en la Artigüedad, sino que, dicha condición, se entiende, se plantea y se fundamenta en unas leyes aceptadas por la comunidad científica: las leyes de la Física y de la Física atmosférica; de tal forma, la comprensión de las causas del clima se hace más adecuada y correcta.

### IV.1.2. La prefiguración de la Climatología

El método más usual en el que se basó la obtención del hecho climático consistió, como dijimos, en la elaboración de medias aritmétricas, fundamentalmente de los valores térmicos anuales, aunque las exigencias propias de un estudio establecido sobre el medio físico indujeron la obtención de otros valores de interés como los promedios de invierno, los de verano, las amplitudes térmicas, las medias del mes más frío y del mes más cálido, etc...:

---

(*)"...Ninguna parte de la geografía física se ha abandonado más al imperio de la rutina y de las preocupaciones fue la que trata de las causas de los climas físicos. Por largo tiempo se consideró el sol como única fuente de temperatura que experimentamos en la tierra, determinándose la influencia que se atribuía a los vientos tan sólo con arreglo a ciertas observaciones locales hechas por HIPOCRATES en Grecia o en las comarcas vecinas; por manera que para profundizar esta parte de la física terrestre fue preciso nada menos que algunas naciones civilizadas enfiasen viajeros a los polos y al ecuador, fundando además en ellos establecimientos permanentes..." (MALTE-BRUN p.672).



este método no fué una aportación de los naturalistas, yá había sido introducida por meteorológos en las postrimerías del S.XVIII; tampoco fueron los naturalistas los únicos que las aprovecharon, a los agrónomos y los médicos les fueron de gran utilidad: "...la comisión real de Medicina se instituye -hacia 1776- para mantener entre los doctores del reino una correspondencia sobre cuestiones relacionadas con las enfermedades y las epidemias. Esta comisión se convierte en 1778 en la Sociedad real de medicina a petición de LASSONE, el más escuchado de los físicos de LUIS XVI. La importancia de los estudios climatológicos llama la atención del Controlador General de Finanzas. En 1775 se dirigió a los físicos y a los médicos para pedirles informes sobre las temperaturas de 1772 a 1774 y sobre las consecuencias médicas. La Sociedad Real de Medicina las reúne y propone un proyecto de observaciones meteorológicas simultáneas destinadas a esclarecer diversas cuestiones de higiene y de agricultura..." (DETTWILLER, 1978 153-4). Las aportaciones de los naturalistas no fueron por tanto las únicas aunque tal vez sí las más trascendentes: es el propio LAMARK quién propone a su gobierno el establecimiento de lo que el mismo llama "meteorología estadística del país" y HUMBOLDT quién dió una mayor divulgación al conocimiento de la distribución de los ambientes térmicos.

El contexto de prefiguración de la Climatología es el lugar donde, por primera vez, se remoza el análisis de ese objeto de estudio que yá hiciera suyo la Antigüedad; y es, además, el marco en donde se crea el mismo término "Climatología" para dar nombre al tratado centrado en torno al clima físico. Ahora bien, las circunstancias bajo las cuales se hace Climatología confirieron a este quehacer unas direcciones determinadas y particulares:

En el establecimiento de este nombre, Climatología, y de la práctica que implica, debemos reconocer una íntima correspondencia y un paralelismo con el desarrollo e incremento del interés que el objeto perseguido por la misma (la descripción y la comprensión de la distribución de las condiciones temperamentales en la superficie de la Tierra) despertó entre aquellos estudiosos preocupados por el análisis explicativo del medio natural, pues el conocimiento del clima físico ofrecía unos datos de gran valor para sus propias elaboraciones temperamentales; se encontraba por tanto en una estrecha relación de dependencia con respecto a otro objeto de estudio de orden superior que es el que le da sentido y lo potencia: las búsqueda de interrelaciones entre fenómenos de diversa índole para describir y explicar el medio natural con todas las características y leyes de distribución que ofrecen las realidades que en él se presentan (especial atención merecieron las realidades biológicas) ante los ojos del que lo examina.

Concretamente, esta situación de dependencia comentada imprimió en el quehacer climatológico de estos momentos dos características particulares, inherentes al mismo:

En primer lugar **suscitó una orientación predominantemente biológica** sobre las consideraciones de los hechos climáticos y sobre la concepción de clima. De este aspecto habla, precisamente, FLACH en su Bioclimatology (1981 p.2) tomando como ejemplo a HUMBOLDT aunque se aprecia en otros muchos, como LAMARACK, DARWIN, MALTE-BRUN, etc... En ciertos casos, esa orientación predominantemente biológica que promovió el planteamiento del clima como aproximación a las condiciones temperamentales de habitación, llega a tomar matices que rayan con el determinismo climático (el cual tampoco fue extraño a las consideraciones hipocráticas).

Y, en segundo lugar, **suscitó en las consideraciones sobre hechos temperamentales una orientación predominantemente comparativa.** La búsqueda de interrelaciones entre fenómenos en la superficie de la tierra y de las leyes de distribución, tán característica de estos estadios de comienzos de la Edad Contemporánea, dió origen a un desarrollo especial de la que el mismo HUMBOLDT (1874 T.I. p.301) llama Climatología comparada.

La etapa de prefiguración de la Climatología, por un lado centrada sobre el remozamiento de este objeto de estudio antiguo y, por otro lado, desarrollada sobre estas dos orientaciones fundamentales, la Bioclimatología y la Climatología comparada, mantuvo en estos comienzos unos límites inciertos con la Meteorología. En este contexto parece que el término Climatología se reserva a la descripción de la distribución de aquellas condiciones aerológicas que tenían una incidencia directa en las realidades biológicas de la superficie planetaria; es decir, se reserva a la descripción de la distribución de las condiciones temperamentales de habitación o climas físicos. Quién creó el término Climatología parece que, en un principio, atribuyó también el estudio de estas condiciones y su explicación a la Meteorología: "...de ahí -escribe HUMBOLDT refiriéndose a las isotermas en 1799- la gran misión de la Meteorología: determinar el curso de estas líneas y de las variaciones debidas a causas locales, deducir las leyes contantes de la distribución del calor..." (HUMBOLDT 1981 p.61); pero, con posterioridad, esta misión es atribuida, yá de forma específica, a la Climatología.

Así, tanto el análisis de los principales fenómenos que caracterizan la atmósfera (según HUMBOLDT: las variaciones de la presión atmosférica, la distribución de los climas y el calor, la distribución de la humedad, y el estado eléctrico), como el análisis de la misma atmós-

fera, se inscriben en "la parte meteorológica del cuadro de la naturaleza " (HUMBOLDT 1874 T.I. p.323) y se reconocen como un objeto de la Meteorología: entonces resulta que la Climatología ya se configura desgajada de la Meteorología por un finalismo particular asociado al análisis específico de la distribución de las condiciones temperamentales de habitación.

Este finalismo que se cobija en la propia concepción de clima físico y en las peculiaridades de la orientación que toma la Climatología, no se vá a limitar a la época de finales del S.XVIII y principios del XIX sino que tiene continuidad en el contexto de formación y desarrollo de la Climatología contemporánea: vá, por tanto, más allá en el tiempo y, también, en los objetivos: las características de la distribución de los ambientes temperamentales en la superficie de la tierra seguirán suscitando en la segunda mitad del S.XIX y principios del XX interés, aunque el concepto de clima evolucione hacia la inclusión de otras características diferentes a los estrictamente temperamentales.

Si nos centramos, para dar continuidad a lo anteriormente visto, en las consideraciones sobre las combinaciones temperamentales de habitación observamos que, éstas, no van a ser aplicadas solamente al estudio del medio sobre los organismos vivos vegetales y animales sino, también, a ese organismo vivo superior que es el hombre: no cabe duda de la importancia que tuvo la obra de DARWIN en la apartura de estos horizontes cognoscitivos: el hombre como un elemento desacralizado, como un elemento más del Medio Natural, suceptible de ser sometido a las leyes (la de evolución entre otras) que se aplican a la descripción del resto de los seres.

De este modo nos situamos en un contexto de estudio de la influencia del clima en el hombre que sigue conectando con el desarrollo de las Ciencias Naturales (*) y, por otro lado, con el ascenso de la Geografía Humana donde se observa toda una gama de matices en la valora-

---

(*)Aunque en la obra de DARWIN el más relevante aspecto es el del evolucionismo y la aceptación del hombre como un ser sometido a las leyes de la selección natural, no obstante, encontramos también sorprendentes referencias a un determinismo climático nó sólo sobre la evolución sino también sobre la distribución espacial de la vida vegetal, de la vida animal y de la vida antrópica. Respecto al papel del determinismo climático en Selección Natural ver El origen de las especies por la selección natural Parte I Cap., II p.122-3. Respecto al papel del clima en la población humana, en el número de sus concentraciones, en la emigración, etc. Ver Viaje del Beagle, especialmente p.109.

ción de esta influencia: desde las concepciones posibilistas de E.RECLUS (*) hasta las concepciones deterministas de E.HUNTINGTONG (**) pasando por las precursoras de un RATZEL. RATZEL, como analiza H.CAPEL, no sólo estudia el el clima en la vida de los pueblos donde "...trata de: la forma en que el clima interviene sobre los hombres, la influencia de las temperaturas sobre el cuerpo y el alma de los hombres..." (CAPEL, 1981 p.284):

---

(*)"...Verdad es que muchas veces, la parte aritificial de la existencia supera en los individuos las condiciones naturales de la vida; sin embargo, una clasificación que tiene un carácter general ha de colocar netamente en primer término el medio de origen que ejerció la acción determinante sobre las poblaciones primitivas. Ante todo ha de estudiarse el medio estático, después hay que informarse del medio climático.Como elemento primordial, conviene evidentemente colocar a la cabeza los fenómenos de la temperatura, con sus considerables desniveles, a veces igualmente mortales, del frío extremo y del extremo calor, y su acción directa: la sequedad del suelo o la producción de humedad. Los mapas estáticos demuestran con perfecta claridad que el clima reparte los hombres sobre la superficie del Globo, agrupándolos en capas densas en las regiones templadas, siempre que esten suficientemente regadas, y en las de la zona tropical, rarificando, por el contrario, los habaitantes en las tierras heladas, y hasta haciendo el vacío absoluto en espacios demasiado fríos para que el hombre pueda mantener en ellos su calor vital(...) En general, la densidad kilométrica de hombres, es decir, el mayor número de habitantes por kilómetro cuadrado, reproduce por sus contrastes los contrastes mismos del clima: del lado de los polos, la línea isotérmica de cero coincide casi exactamente con el límite de habitabilidad que la naturaleza ha trazado al género humano..." (RECLUS T.I p.41-45. Ver también T.I p.55).

---

(**)"...La consistencia de nuestros resultados es de gran importancia. Nos lleva a la creencia que en todas las partes del mundo el clima está ejerciendo una influencia que puede ser fácilmente medida y que puede ser objeto del análisis estadístico. Y justifica que continuemos confiadamente la tarea de establecer cual es el efecto producido por cada uno de los elementos climáticos, tales como temperatura, humedad y presión..." (HUNTINGTON 1942 p.107). Algo después, en sus conclusiones, asevera: "...El clima de muchos paises parece ser una de las razones por las cuales la ociosidad, el fraude, la inmoralidad, y la falta de voluntad prevalecen en ellos. Si llegamos a dominar el clima, el mundo entero será más fuerte y más noble..." (HUNTINGTON 1942 p.334).

no obstante estos planteamientos, están yá presentes en el mismo HUMBOLDT cuando habla de la influencia de determinados hechos aerológicos en la Moral del hombre y la armonía de sus facultades (1874 T.I. p.301) y en MALTE-BRUN (p.672-701).

## IV.2. LA CONSIDERACION DE LOS HECHOS CLIMATICOS EN LA EDAD CONTEMPORANEA. LA CONCEPCION DE CLIMA METEOROLOGICO Y EL DESARROLLO DE LA CLIMATOLOGIA CIENTIFICA EN SUS DIFERENTES VERTIENTES.

El término clima, en nuestra disciplina y actualmente, hace una decidida y nítida referencia al tiempo atmosférico: el clima, en general, y el fenómeno climatológico, en particular, es ante todo una inferencia abstracta obtenida de determinadas consecuencias o efectos espacio-temporales característicos de la evolución de los estados de la atmósfera. Pero esta característica conexión del clima con el tiempo atmosférico posee según dijimos una incuestionable dimensión histórica: no fué heredada sino que, para su creación, debió aguardar a determinadas circunstancias representadas en contextos concretos de la historia de la Ciencia y, cuando se creó, esa conexión clima-tiempo no se mantuvo estática, evolucionó junto a la evolución mostrada por aquellos contextos que dieron pie a su inicio.

En ese proceso de aproximación del clima a las realidades atmosféricas la concepción durante los comienzos de la Edad Contemporánea del clima físico supuso yá un primer paso puesto que las consideraciones sobre las condiciones temperamentales dieron cabida a determinados hechos atmosféricos para hacer comprensibles y explicables las circunstancias en que se hallaba la distribución geográfica de los climas físicos: sin embargo no es en este contexto donde encontramos una concepción del clima como aproximación íntegra a las realidades atmosféricas.

Junto a la concepción del clima físico como una aproximación a las condiciones aéreas de habitación, al temperamento o, en particular, a la temperatura, existe otro tipo de planteamiento sustancialmente diferente aunque lo encontremos solamente esbozado en la etapa de comienzos de la Edad Contemporánea pues su desarrollo fundamental parte de la segunda mitad del S.XIX: es el **planteamiento del clima como aproximación al tiempo atmosférico.** Viene a corresponderse con el establecimiento de la Climatología científica contemporánea trás la etapa de la prefiguración de la Climatología antes analizada. Aquí, la identificación entre clima y temperamento se vé completamente desbordada por una concepción del todo diferente que proyecta el clima como una noción más global y mejor conectada con las realidades atmosféricas.

A pesar de esa tendencia a identificar clima con temperamento y, especialmente, clima con calor, y a pesar de haberse consolidado como un producto directo de la acción sobre el clima solar de una encrucijada de condicionamientos geográficos perennes (hipsometría, continentalidad, orientación, corrientes marinas, etc...) que convertían al clima físico en un rasgo perdurable del medio físico donde tiene lugar su existencia, las concepciones atmosféricas que, elaboradas fundamentalmente por los físicos y los meteorólogos, subyacían a los hechos aerológicos (donde, en definiva, se engloba el hecho climático) habrían de dar lugar, en el concepto de clima, a una extensión efectiva y explícita a otros aspectos, aparte de los estrictamente temperamentales, hasta hacerle alcanzar ese significado global y superior, actualmente válido, recogido yá en la expresión "conjunto de variaciones atmosféricas" de la definición "sensu lato" de clima propuesta por el mismo HUMBOLDT; debemos anticipar que ésta es una de las primeras plasmaciones concretas del reconocimiento de la solidaridad que muestran los fenómenos barométricos, higrométricos, térmicos, etc... entre sí en el medio aéreo y es, además, una aceptación de la condición atmosférica y del carácter dinámico que posee el hecho climático.

Hemos de dar un especial valor a esta concepción del clima (como aproximación al conjunto de variaciones atmosféricas, a los estados de la atmósfera con sus consecuencias meteorológicas o al tiempo atmosférico) porque implica la introducción de un objeto de estudio totalmente nuevo. Este planteamiento presenta diferencias sustanciales con respecto a todo lo anterior y, también, con respecto al concepto del clima físico que hemos examinado en el apartado precedente. La aproximación a los hechos temperamentales es lo que constituye el contenido básico del concepto naturalista de clima físico, y, como vimos, esto ocupó yá la atención de los antiguos.

Hacer del clima una aproximación a determinadas realidades aerológicas, cuando éstas han sido previamente establecidas como realidades atmosféricas, tiene que constituir necesariamente una concepción inédita del clima, una concepción desarraigada de la Antigüedad, toda vez que la misma atmósfera, así como los procesos y los fenómenos que en ella tienen lugar (entendidos como procesos y fenómenos atmosféricos), son concepciones físicas construidas en el seno de la Ciencia Moderna: eran por tanto desconocidas como tales por la Antigüedad y por la Edad Media, épocas durante las cuales se podía establecer, todo lo más, una aproximación al medio aéreo y a los fenómenos aerológicos y ambientales. La diferencia entre medio aéreo y medio atmosférico o entre ambiente aerológico y estado de la atmósfera puede parecer sutil pero, en cualquier caso, es profunda pues la noción de atmósfe-

ra presupone toda una serie de concepciones de la Física sobre el medio aéreo: la primera y principal es la consideración del aire como un gas (o, mejor, como una mezcla de gases) y, como tal, sometido a las leyes de los gases en general; la consideración de estas leyes consolidará el reconocimiento de la interdependencia mútua entre las diferentes variables físicas del medio aéreo cuyas características y consecuencias se verifican en la evolución de los estados de la atmósfera y del tiempo atmosférico.

Pero, para llegar a constituir el clima una aproximación al tiempo atmosférico, fué necesario un desarrollo previo en el conocimiento de este último capaz de acreditarlo como el responsable, en última instancia, del clima o de cualquier hecho característico del medio aéreo sobre la superficie terrestre. Sin embargo los avances fundamentales dados en el conocimiento del tiempo atmosférico ocurrieron en la primera mitad del S.XIX y, sobre todo, desde 1850 aproximadamente: ésta fué la época en que tuvo lugar, según vimos, la superación de las concepciones descriptivo-locales; también la época en que el desarrollo de la Física volvía a abrir grandes horizontes a la comprensión de los procesos y fenómenos atmosféricos: fue, en definitiva, el período en que, como comentábamos, se le dió su gran impulso a la Meteorología.

Es en el S.XIX cuando los físicos y los meteorológos promueven el conocimiento del tiempo atmosférico y de los procesos aerológicos relacionados con su evolución; el protagonismo que alcanzan entonces los fenómenos atmosféricos en las consideraciones sobre el medio aéreo empiezan a resquebrajar las ideas sobre la existencia del clima físico y de los temperamentos como auténticas realidades producidas directamente por el substrato geográfico y la radiación solar.

Precisamente es durante la primera mitad del S.XIX cuando se inician los primeros trabajos importantes en el conocimiento del tiempo atmosférico en la vertiente práctica, la extensión de las observaciones del tiempo, y teórica, de la mano de BRANDES, DOVE, etc...: e, inmediatamente, hacia 1845, se esboza la definición antes citada de clima como "conjunto de variaciones atmosféricas" (HUMBOLDT 1874 p.301) donde, implícitamente, se reconoce la necesidad de aceptar el protagonismo del tiempo atmosférico en las consideraciones sobre el clima.

Tanto en cuanto el análisis de las características más permanentes del medio aéreo incorpora contenidos relacionados con las realidades de la atmósfera, el concepto de clima deja simultáneamente de tener consistencia por sí mismo como una realidad directamente constituida por hechos geográficos y astronómicos, y se convierte en una aproximación particular centrada única y exclusiva-

mente en torno al tiempo atmosférico destinada a obtener sus tendencias o estados duraderos.

Pero fué en la segunda mitad del S.XIX cuando se desarrollan con mayor profusión los trabajos sobre el tiempo atmosférico; y es también durante este período cuando, de la mano de los mismos meteorológos, el clima evoluciona hendiéndose entre las concepciones anteriores hasta llegar a abrogar, como dijimos, la noción de clima físico, en la cual era reconocido como un fenómeno real, y adoptar una constitución atmosférica que le es característica: el término clima pierde por tanto definitivamente ese vacio de significados atmosféricos para llegar a convertirse en una **aproximación abstracta al tiempo atmosférico.**

Este planteamiento nuevo del clima nos muestra, sobre todo, unos contenidos más amplios y ricos que el planteamiento del clima físico, enraizado en la Antigüedad; la noción de clima no se limita a las condiciones temperamentales aéreas de habitación, sino que abarca, según hemos dicho, una realidad de orden superior: la atmósfera y las manifestaciones que tienen lugar en la evolución de sus estados. Para distinguir aquella noción de clima de esta otra nosotros proponemos, para la primera, el nombre que yá tenía de "clima físico" y, para las segunda (el planteamiento nuevo del clima), el nombre de "clima meteorológico".

El adjetivo físico para la primera noción de clima tiene sentido por su situación de dependencia en el contexto decimonónico con respecto al estudio del medio físico y su introducción en los estudios de corte naturalista y, más particularmente, en las elaboraciones de geográfia física. Esta segunda noción de clima es merecedora del adjetivo calificativo **"meteorológico"** en primer lugar porque se estableció a partir de un objeto de estudio propio de la Meteorología: las variaciones atmosféricas o las analogías en la evolución del tiempo atmosférico; y, en segundo lugar, porque se plantea en el marco mismo del quehacer de la Meteorología. Tengamos en cuenta que, cuando HUMBOLDT estableció yá en el Cosmos (1845) su definición de clima "sensu lato", se aludían a una serie de hechos que, por un lado, sobrepasan la concepción del clima que él mismo utiliza cuando trata de "la distribución de los climas y el calor"; y, por otro lado, se corresponden con los principales fenómenos atmosféricos que, en su íntima conexión, configuran lo que HUMBOLDT (1874 T.I. p.323) denomina "la parte meteorológica del cuadro de la Naturaleza".

Estas constataciones, que pueden obtenerse trás una lectura detenida de la obra del alemán, se hacen más evidentes si tenemos en cuenta que los trabajos sobre el clima meteorológico, es decir, los trabajos de aproxima-

ción al tiempo atmosférico, fueron esencialmente desarrollados durante el S.XIX en el seno de la Meteorología y, sobre todo, por meteorólogos interesados en el conocimiento del funcionamiento y la descripción de la atmósfera y de los fenómenos atmosféricos.

Efectivamente, en la praxis, el desarrollo de trabajos concretos con una concepción meteorológica del clima (el clima entendido como aproximación al tiempo atmosférico) sólo pudo venir de la mano de aquellos quienes, por centro de toda su atención, tenían al mismo tiempo atmosférico. La puesta en marcha de esta nueva concepción vino impulsada fundamentalmente, como anticipábamos, por los mismos meteorólogos porque, para ellos, el clima constituyó una forma particular de conocer su propio objeto de estudio: la atmósfera, el tiempo atmosférico (los "estados") y sus consecuencias meteorológicas (los meteoros); para concretar más, vino impulsada por los meteorólogos de la segunda mitad del S.XIX, localización cronológica que, como antes decíamos, no nos debe resultar extraña pues es en esta época cuando la Meteorología asiste a un definitivo despegue, bajo diversos aspectos, de sus propias elaboraciones.

Este contexto en donde se fraguan los resortes que habrán de empujar al posterior desarrollo de la Meteorología Contemporánea también tuvo, consiguientemente, sumo interés en la formación de una disciplina que sólo estaba, hasta el momento, insinuada o prefigurada en la teoría y parcialmente desarrollada en la práctica: la Climatología.

### IV.2.1. El concepto de "clima meteorológico" y la configuración de la Climatología científica Contemporánea

La superación de la etapa de prefiguración de la Climatología (la Climogeografía) e iniciación del período de formación y desarrollo de la Climatología científica Contemporánea (la Climometeorología) fué fruto de la consolidación del clima meteorológico o, lo que es lo mismo, de la concepción integral del clima que potencia la aproximación o el conocimiento climatológico del tiempo atmosférico, de los meteoros y de la misma atmósfera. Esta aproximación, de donde dimana lo que hemos venido denominando concepto de clima meteorológico, se llegará a hacer explícita en este mismo contexto de la segunda mitad del S.XIX a través de las definiciones dadas por los propios meteorólogos:

El clima -según la conocida expresión del meteorólogo J.HANN- es el **conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera sobre un punto de la superficie terrestre** (y, posteriormente, continúa afirmando que el clima comprende la totalidad de los estados verdaderos de la atmosféra, el conjunto de

los tipos de tiempo) (HANN,J. 1882 p.1). En las concepciones y elaboraciones de J.HANN sitúan diversos autores los inicios mismos de la Climatología científica.

Esta definición revela las inquietudes que promovían, en este contexto, el estudio del clima. Aquí, los contenidos temperamentales (parciales) se han cambiado por contenidos atmosféricos (íntegros) y el clima, como objeto de estudio, se vé sensiblemente transformado: el estudio del clima meteorológico se lleva a cabo, en la práctica, siguiendo la pauta del análisis de los diferentes elementos meteorológicos; no es, en consecuencia, un estudio restrictivo y, aunque dicho análisis los pueda llegar a tratar en determinadas ocasiones por separado, siempre subyace la aceptación explícita (en la definición de clima) o implícita (en la aceptación de esa definición como punto de partida) de que, en su existencia, estos elementos meteorológicos están íntimamente trabados entre sí por los vínculos físicos que se establecen en las situaciones reales del tiempo atmosférico sobre las cuales los mismos meteorólogos habían tratado desde principios del S.XIX y, sobre todo, desde 1850, comprobando como la condición dinámica y cambiante del tiempo se mantiene en conexión con la movilidad de los sistemas de presión fundamentalmente, manifiesta en los mapas sinópticos del tiempo.

Pero, una vez sustituidos los contenidos geográficos y temperamentales por los contenidos meteorológicos y atmosféricos, la aproximación a estos últimos, es decir, la aproximación a las analogías que muestra en su evolución espacio-temporal el tiempo atmosférico (de donde dimana lo que hemos venido denominando clima meteorológico) ha mostrado una cierta diversidad de modalidades: esto se debe principalmente a dos hechos:

Por un lado, debido a que las concepciones sobre el tiempo atmosférico han evolucionado junto a la evolución mostrada por aquellos contextos que dieron pie a su inicio: la Meteorología, una disciplina donde se han operado avances espectaculares en un período reducido, poco más de un siglo.

Por otro lado, debido a que ha sido empleada para fines muy diferentes que determinan precisamente la forma en que dicha aproximación debe realizarse.

De tal modo, el clima meteorológico y la Climatología misma han mostrado desde sus inicios una diversidad, también, de formulaciones en función de los conocimientos teóricos sobre el tiempo atmosférico y de sus aplicaciones prácticas. Estas formulaciones, que se han conservado hasta la actualidad, se pueden agrupar en dos grandes vertientes de las que nos ocupamos a continuación:

## IV.2.2. La vertiente estadístico-aplicada de la formulación climatológica

El clima meteorológico fue empleado, sobre todo desde las últimas décadas del S.XIX, para tener un conocimiento de cada una de las diferentes consecuencias meteorológicas a las que dan lugar los procesos atmosféricos sobre la superficie de la Tierra. Bajo esta vertiente tuvo lugar el desarrollo de la Climatología Separativa, Analítica o Tradicional.

En sus inicios probablemente se erigió en un primer y sencillo proceso de tratamiento y elaboración de los datos que suministraba la red de observatorios meteorológicos cuyo número y coordinación fué en aumento de forma espectacular desde mediados del S.XIX. Desde que se advirtió en Meteorología el interés que tenían los registros de las variaciones de los principales elementos y características que definen el estado de la atmósfera en la superficie del Globo, también se trató de obtener alguna idea más general de la acumulación de datos, reuniendo las observaciones de cada elemento por meses, años, o por determinado tipo de períodos a través de medias aritméticas fundamentalmente; en cualquier caso, la elaboración estadística les confiere su significación climatológica de tal modo que la simple yuxtaposición de los valores así obtenidos de cada elemento, conocidos con el nombre de "normales climatológicas", daban expresión concreta a este concepto de clima.

La tarea, esencialmente protagonizada en un principio por los meteorólogos dió, incluso, un nombre a este período de la historia de la Meteorología que transcurre en el S.XIX: es lo que suele conocerse como "etapa climatológica de la Meteorología".Sus inicios arrancan, no obstante, de finales del S.XVIII época en la que se publicaron algunas estadísticas climatológicas; pueden destacarse las que se insertan en las Memories sur la Météorologie de 1788 por P.L.COTTE, persona que, cuatro años antes, había redactado y sacado a la luz un Traité de Météorologie (Ver DETTWILLER 1978 p.153-4); en ellas se dan los valores medios anuales y mensuales térmicos (máximos, mínimos y medios), barométricos (media matinal, nocturna y diaria y máximas y mínimas), de vientos (dirección dominante) y de lluvias (número de días).

En el S.XIX es cuando tuvo una mayor promoción la estadística climatológica por parte de los meteorólogos; la razón de este impulso fué, sin duda alguna, el aumento del número de observatorios que componían la red meteorológica. Continuó constituyendo una simple aproximación estadística que ahora estaba promovida por el intento de establecer lo que J.S.SAWYER denomina una "Climatología mundial" (SAWYER 1974 p.13); para ello del mismo modo que se habían establecido sugerencias sobre sistemas

uniformes de observaciones o de símbolos meteorológicos, en las primeras conferencias y congresos meteorológicos se propusieron también en este quehacer climatológico "normas" que reflejan su promoción por parte de los mismos meteorólogos: así, por ejemplo, tenemos la clasificación de las estaciones meteorológicas (Congreso Meteorológico Internacional de Viena, 1873), o la adopción de valores medios (Conferencia de Leipzig, 1872), la recomendación de emplear para los promedios períodos de treinta años (Conferencia de Vasovia,1935), etc.. Esta preocupación por establecer normas para proceder adecuada y coordinadamente sobre el tiempo atmosférico desde las pespectivas del clima continuará, incluso, hasta la actualidad, y dichas normas suelen ser seguidas no sólo por los meteorólogos de las Secciones de Climatología de los centros meteorológicos sino, también, por botánicos, geográfos, etc...que desarrollan su trabajo en el marco de la Climatología Tradicional. Todo esto sitúa la parte de protagonismo detentada por los meteorólogos en la construcción de la Climatología.

En el establecimiento de esta "Climatología mundial" destaca la elaboración, en tablas, de normales y, sobre todo, la escenificación o representación en vastas regiones e, incluso, planisférica de las consecuencias meteorológicas promediadas sobre la superficie de la Tierra: se trata de los mapas de cada uno de los elementos climatológicos que llegaron, en su momento, a constituir Atlas meteorológicos. Así, la Climatología descriptiva desarrollada por la Meteorológia climatológica proliferó durante la segunda mitad del S.XIX con la preparación del mapa de lluvias medias (LLOOMS), de presiones (BUCHANT), modificaciones del mapa de temperaturas (DOVE, DAVY) etc. culminando con la publicación, a finales del S.XIX y principios del XX, de Atlas meteorológicos mundiales y regionales tales como el de BARTHOLOMEW, el de HANN,etc.

Como puede apreciarse, los rasgos fundamentales que poseía la descripción del hecho climatológico en el contexto anteriormente visto: la objetividad (expresión métrica), la globalidad (expresión planetaria y comparada) y la expresividad (representación gráfica), lejos de ser relegados, ahora son fuertemente potenciados al mismo tiempo que se ven ampliados a un abanico de elementos que no quedaban comprendidos en la noción de clima físico, fundamentalmente relacionada con el aspecto de las temperaturas.

Bajo esta concepción, como anticipàbamos, la lmedia aritmétrica cobró un gran valor: esto se aprecia en las primeras elaboraciones del clima meteorológico, durante las postrimerías del S.XVIII y primera mitad del S.XIX, en las propuestas de la Conferencia de Leipzig de 1872 (FEDEROV y BOME 1972) o en la misma definición de clima tomada de J.HANN a finales del S.XIX y principios del

S.XX.

Como escribe CH.P.PEGUY (1970 p.20) "...las primeras especulaciones auténticamente 'climáticas' han sido el cálculo, después el comentario, de un cierto número de valores numéricos correspondientes a series de observaciones diarias, tales como por ejemplo las temperaturas y las precipitaciones...".

Esta forma de proceder, promediando cada una de las variables meteorológicas que se presentan en las situaciones concretas del tiempo para un periodo determinado, daría lugar a lo que se ha denominado como "Climatología del valor medio" (LANDSBERG 1982 p.402) que haría posible entender también el clima meteorológico como una propiedad esencialmente estática de los diversos medios ambientes.

Sin embargo, sería injusto e incierto reducir este planteamiento estadístico del clima al procedimiento de la media aritmética, aunque tampoco se puede negar su mayor éxito. Como yá anotara W.KOEPPEN "...Entre los métodos para reducir la inmensidad de los fenómenos del estado atmosférico a términos concretos, la media aritmética siempre ocupará probablemente el primer lugar, a pesar de que poco a poco se ha tenido que reconocer que también esto tiene un límite, más allá del cual este recurso deja de ser aplicable...", para continuar poco después "...En vista de que las medias y las sumas iguales pueden ser el resultado de cifras muy desiguales, es necesario que se les complete, por lo menos mencionando los valores extremos, es decir, las máximas y mínimas...". Al lado de estos cálculos el auxiliar más importante de la Climatología, junto con el cálculo de la variabilidad, es "...la determinación de la frecuencia de un fenómeno o de sus distintos grados, sea que ésto se haga atendiéndose a un horario fijo, sea por días, por ejemplo, sumando los días sin o con lluvia de diferente intensidad (...) Dividiendo después esas cantidades por el total de observaciones (...) se obtiene la probabilidad, que tiene que quedar entre 0,00 y 1,00 del fenómeno..." (KOEPPEN 1948 p.40-43).

Yá con anterioridad, BALDIT (1934), para definir correctamente las series de datos por medio del análisis matemático había establecido, junto a la media arimética, el valor límite, la variabilidad y la frecuencia; algunos decenios antes (1906) él mismo había establecido un estudio climatológico de temperaturas por medio de las frecuencias (FEDELABO DE 1957 p.49-50). Incluso, el estudio de la temperatura desde el punto de vista de la variabilidad había sido ya llevado a cabo en el S.XIX por DOVE realizando la desviación media de los promedios mensuales

del calor normal, y el estudio de HANN respecto a las variaciones de un día a otro (KOEPPEN 1948 p.29).

El hecho de que la media aritmética haya tenido mayor éxito no quiere decir, por tanto, que desde casi los inicios de la Climatología Separativa, Analítica o Tradicional se pensara en la conveniencia de otros procedimientos de análisis matemático para desentrañar las analogías mostradas por los fenómenos componentes del tiempo atmosférico en su evolución, que es en definitiva el objetivo último. Lo que sí se ha mantenido invariable en el espíritu de la aproximación al tiempo atmosférico desde esta perspectiva es lo que nos atreveríamos a denominar como "concepción estadística primaria del clima" (*). Estamos ante la paradoja que comentan CH.P.PEGUY y J.F.MARCHAND (1982 p.186): "...Por una paradoja que no es más que aparente, el progreso de las ciencias incita al hombre a dominar los efectos del azar del clima más bien que mejorar nuestro conocimiento sobre él..."

En la actualidad la concepción estadística del clima se mantiene intacta en esta vertiente de la Climatología separativa porque es su misma esencia y su consistencia: como expresaba hará poco más de treinta años el meteorólogo J.M.JANSA GUARDIOLA (1954 p.570-1) la periodicidad a la que están sometidas las magnitudes meteorológicas confiere a éstas su carácter de hechos permanentes y, consiguientemente, su condición geográfica (el hecho geográfico para JANSA es un fenómeno permanente): "...no hay nada tan variable como el tiempo atmosférico: ¿podrá extraerse de la observación algún elemento suficientemente permanente para que adquiera categoría geográfica?. Así es, y se ha llegado a tal resultado por análisis estadístico de todo el material de observación...".

El desarrollo inicial de esta forma de proceder y de hacer Climatología tiene sus cimientos en la creencia, nada infundada, de que los factores del clima actúan determinando una cierta permanencia en las características de la evolución del tiempo atmosférico: las condiciones astronómicas son permanentes (ciclos matemáticos perfectos), también lo son las geográficas e, igualmente, las meteorológicas, pues el esquema de la Circulación Atmosférica donde se conciben estas condiciones meteorológicas procede de concepciones permanentes formulada sobre factores astronómicos y geográficos (esquemas de

---

(*)Esta denominación "concepción estadística primaria del clima", la damos en función de la calidad de aproximación por métodos matemáticos a las observaciones realizadas por las estaciones meteorológicas que contribuyen a formarse una primera definición de sus condiciones y características.



Circulación General esencialmente térmicos). Así, el tratado del Clima meteorológico tiene unos fundamentos muy enraizados en la Climatología Humboldtiana y en las consideraciones descriptivas y explicativas del clima físico en general, salvo que la aproximación a los fenómenos temperamentales y a las condiciones aéreas de habitación ha sido sustituida por una aproximación separativa, analítica, a los fenómenos meteorológicos tal y como se explicita en la definición clásica de clima tomada de J.HANN e, incluso, en la concepción "sensu lato" del mismo HUMBOLDT.

La posibilidad de establecer en este contexto los fenómenos del tiempo atmosférico como hechos permanentes gracias a la elaboración estadística es, junto a la esencia de estos factores del clima, lo que en una buena parte ha impelido su carácter geográfico a la Climatología motivando el interés de los geógrafos por esta disciplina meteorológica bajo un reconocimiento de su condición geográfica por parte de los propios meteorólogos.

Pero la evolución de la Climatología Tradicional desde fechas relativamente recientes, la década de los años setenta, presenta una serie de renovaciones que vienen de la mano, una vez más, de la técnica, concretamente de la utilización del ordenador. Esto fué muy importante para esta vertiente de la Climatología contemporánea tanto en cuanto la esencia de su proceder y su consistencia misma es, como hemos visto desde sus inicios, fundamentalmente estadística. Las técnicas matemáticas pudieron, con este medio (la informática), abrir nuevas perspectivas y sacar de su estancamiento a la Climatología tradicional y al concepto estadístico del clima que es inherente. En 1970, en un conocido manual de climatología se escribía: "...sería un error pensar que la climatología analítica haya dicho sus últimas palabras con el empleo de las técnicas introducidas por ANGOT -la interpolación y la media aritmética- (...) por una parte una multitud de índices han sido propuestos para reagrupar los diferentes elementos del clima previamente disociados por el análisis (...) por otra parte, aunque con algún retraso (...) el empleo de técnicas modernas de cálculo estadístico que reposa esencialmente sobre la noción de frecuencia de un fenómeno ha dado ya algunos resultados interesantes y merecería ser empleado a mayor escala en climatología..." (PEGUY 1970 p.26); trece años después en un artículo: "Informatique et Climatologie", el mismo autor señala: "...Como para los demás geógrafos, la informática ha permitido al climatólogo hacer avanzar su disciplina a grandes pasos, pero haciéndole pasar por estados de consciencia variados: la admiración ante el juguete, el aprendizaje severo de una lógica implacable, la aprehensión ante la extensión de los horizontes..." (PEGUY, 1983 p.286).

La introducción de la informática en las consideraciones sobre el clima llevadas a cabo desde esta perspectiva de la Climatología Analítica vinieron acompañadas, además, de una nueva filosofía, el neopositivismo, que sin duda alguna potenció la utilización del ordenador y de las técnicas modernas de cálculo estadístico especialmente para el establecimiento de modelos.

En este marco el interés por el dato climatológico va en aumento; pero dicho interés ha tenido una conexión intima con la predicción a largo plazo destinada a paliar problemas de índole humano y económicos que se han agravado en los últimos veinte años; esto es una connotación de ningún modo extraña a este contexto neopositivista; como dicen J.M.RASO, P.L.CLAVERO y J.MARTIN: "...Tradicionalmente la Climatología ha sido considerada como una parte de la Geografía Física. Su papel consistía en describir y explicar los climas de la superficie terrestre. Por su parte, la Meteorología ha tenido a la Climatología por una rama propia encargada de la obtención de los promedios o valores normales de los elementos meteorológicos. Ahora bien, en la actualidad ninguna ciencia puede conformarse con finalidades meramente descriptivas, explicativas o auxiliares de otras ciencias. Por el contrario, creemos que la misión fundamental de la Climatología actual debe ser la predicción a un largo plazo de las características de los fenómenos atmosféricos en su incidencia en el espacio geográfico. Por otra parte, dentro de la Geografía como ciencia de la ordenación del espacio, esta Climatología se presenta como la disciplina encargada de la elaboración y del suministro de información referente a los valores y características espaciales de los parámetros meteorológicos a largo plazo..." (J.M.RASO, P.L.CLAVERO y J.MARTIN 1980 p.329). Yá en la quinta reunión de la Comisión de Climatología (Ginebra 1969) el meteorólogo H.FLONN exponía como "...durante varias décadas los servicios de climatología realizaron una excelente labor limitada al análisis y descripción del clima actual, perfeccionando las técnicas de diagnóstico y echando una mirada marginal hacia los climas préteritos. En la actualidad, el análisis climatológico debe completarse, cada vez más, con la predicción climatológica ..." (FLOHN 1970 p.272).

Estas pretensiones vienen fundamentalmente reforzadas por la actitud de los meteorólogos que, igualmente, han potenciado esta faceta de la Climatología: la creación de la Comisión de Climatología y aplicaciones de la Meteorología (CCAM) y del Programa Mundial de Datos Climáticos (PMAC) en el seno de la O.M.M parece, en parte al menos, haber respondido a estas inquietudes. En la octava reunión de esta Comisión (Washington 1982) el discurso presidencial (pronunciado por M.K.THOMAS) se hacia eco del sentimiento de optimismo generalizado hacia la Climatología y hacia su utilidad para resolver los problemas

socioeconómicos mundiales (ver Boletín de la O.M.M. número 4 Oct. 1982 vol.31. 397-9).

La Climatología Tradicional, que se había mantenido desde sus inicios como una elaboración estadística de los valores recopilados por los observatorios meteorológicos, encuentra ahora unas técnicas y unos medios propicios para el desarrollo de aspectos que no eran nuevos pero que tampoco se habían desarrollado en toda su amplitud con anterioridad por la carencia de dichos útiles. Así, la utilización de las frecuencias, por ejemplo, como medio de expresión del análisis separativo del clima, no es nuevo; lo que sí es nuevo en este contexto de la Climatología Analítica de los años setenta y ochenta es su enorme proliferación, que acabó por permitir una superación de la concepción estática del hecho climatológico: como explica LANDSBERG en los años recientes se han impuesto nociones sensiblemente diferentes: "...quizás quien mejor lo expresó fue LORENZ al afirmar que las leyes físicas que determinan el tiempo también gobiernan el clima, y que, en lugar de los valores medios invariantes, lo que más adecuadamente define un clima es un conjunto de valores estadísticos en un período de tiempo largo pero finito. Muchos climatólogos han adoptado ya los conceptos estadísticos para describir la amplia gama y variabilidad de la multitud de elementos climáticos..." (LANDSBERG 1982 p.403).

Todo este conjunto de renovaciones se complementa con otras y, como veremos, está también en conexión con el tipo de problemática climatológica que se aborda ahora: la preocupación que han suscitado las catástrofes climáticas (el drama de Sahel es un ejemplo), los problemas medioambientales, la necesidad de las nuevas energías trás la crisis de 1973, o las exigencias de una economía planificada, sobre todo en agricultura, etc...han sensibilizado al climatólogo fuertemente; y le han motivado para hacer de la Climatología Tradicional, en términos de MARCHAND una "Ciencia Humana" (PEGUY y MARCHAND 1982 p.189), al mismo tiempo apoyada en una profundización estadística del análisis: "...la convergencia de estas preocupaciones, universitarias o nó, debía dar nacimiento a una climatología estadística que, progresivamente, habría de definir sus conceptos (variabilidad, fluctuaciones, estacionalidad o nó del clima). Los progresos de la informática y del análisis de datos habrían de facilitar esta mutación..." (PEGUY y MARCHAND 1982 p.187).

Pero la aproximación a los fenómenos meteorológicos desde esta perspectiva de la Climatología Tradicional ha presentado otra característica que, igualmente, le es esencial: su procedimiento separativo en el análisis. Para entender la evolución histórica de esta vertiente el procedimiento separativo fué determinante de la multiplicación Climatológica que es una característica inconfun-

dible.

El hecho de que se haya constituido exclusivamente en una aproximación directa a los valores recogidos en los observatorios meteorológicos y nó al mismo tiempo atmosférico (hecho complejo y global) ha motivado, en parte, esta característica analítica que acabamos de señalar, pues los observatorios meteorológicos registran el tiempo atmosférico descomponiéndolo en diferentes variables meteorológicas, utilizándose un instrumento de medición diferente para cada una de ellas; en el punto de partida es, yá, un análisis separativo donde la realidad se fragmenta en una diversidad de realidades: las que recoge el termómetro, la que recoge el pluviómetro, etc...

Pero, también en parte, el procedimiento separativo en el análisis ha venido suscitado por el hecho de que no siempre las motivaciones que han promovido el estudio climatológico han exigido un conocimiento complejo y global de las circunstancias que el contexto atmosférico impone a la superficie de la Tierra; es más, en numerosas ocasiones, la consideración de un sólo elemento o la combinación de unos pocos elementos obtenidos separativamente ha bastado.

Esta segunda característica de la Climatología Tradicional: su procedimiento separativo en el análisis está, consiguientemente, ligada a otra característica no menos importante que es el carácter aplicado a otras áreas del conocimiento y a otros objetos de estudio que no son estrictamente el clima, no precisando para sus propias elaboraciones, por tanto, más que el elemento o los elementos climáticos que apriorísticamente se creían de interés. De tal modo la Climatología encontró en este contexto su razón de ser, su impulso y su desarrollo, por el reconocimiento de la utilidad que para diversos objetos de estudio tenían determinados elementos climáticos. Por tanto el análisis separativo se ha encontrado vinculado al análisis parcial del clima.

En este marco, la definición del meteorólogo J.HANN cobró auge, aunque también es cierto que fué traicionado pues el clima meteorológico dejó de constituir "el conjunto de fenómenos meteorológicos" para pasar en la práctica a corresponderse con algunos fenómenos meteorológicos solamente: de tal modo la utilización del concepto de clima condujo a un desarrollo sectorial de los aspectos englobados en el mismo.

De esta forma, el clima meteorológico, desde finales del S.XIX hasta prácticamente la actualidad, acabó por encontrarse también con una situación muy similar a la que tuvo el clima físico con anterioridad porque la consideración y el análisis del mismo estaba suscitado (y

supeditado) por un objeto de estudio de orden superior y externo o extraño al propio clima. Sólo que, ahora, el finalismo con que estaba provisto el análisis del clima (y la subordinación hacia ese objeto de estudio de orden superior que ello implica) no es único, como en el caso del clima físico, sino plural: de aquí que la posición de servidumbre de los estudios del clima trajera aparejada una característica que, aún hoy, se mantienen: la multiplicación de las Climatologías en función de los fines: la práctica de la Climatología se hace tán diversa como orientaciones posee el planteamiento del dato climático en diferentes disciplinas o áreas de conocimiento: así, la consideración del clima en Medicina conduce a una utilización de valores y de índices, a un quehacer en definitiva, diferente del de los discursos centrados en el estudio de la vegetación, en el estudio del relieve o en el estudio del mismo hombre en Geografía Humana.

La pluralidad de tratados o de formas de tratar el clima y la dispersión consiguiente de la Climatología en una indeseable diversidad de "Climatologías" (algunas, las de mayor tradición, con nombre propio como es el caso de la Bioclimatología) vino coadyuvado por la incorporación de todo el abanico de elementos meteorológicos correspondientes a los diferentes fenómenos observados en la capa más superficial de la atmósfera: el clima no se limita al temperamento (el clima físico) sino también al viento, a las precipitaciones, etc...de tal modo que la concepción del clima meteorológico permite ofrecer ahora toda una gama de datos relativos a los hechos atmosféricos donde elegir.

Los precedentes de una elaboración climatológica separativa y parcial con una aplicación concreta, podemos ejemolificarlos en los célebres "Pilots Charts" de MAURY, llevados a cabo, según DANIEL (DANIEL 1973 p.202), fundándose en los datos que había reunido durante nueve años; como dice CH.P.PEGUY (1970 p.4), en los cuarenta del pasado siglo MAURY elaboró esta información "...indicando para todos los trapecios esféricos de los océanos de 5 grados de lado, la frecuencia de los vientos en dirección y fuerza. Este trabajo estadístico (...) permitió reducir considerablemente -algunas veces a la mitad- la duración del tiempo de los viajes...".

Existen otros muchos y variados ejemplos de este tipo. Pero, de entre ellos, uno sobresalió sobre todos los demás: el conocimiento del medio físico terrestre. La importancia que, en este contexto, adquirió el interés del dato climático ya había sido establecida anteriormente bajo la concepción del clima físico: ahora la elaboración climatológica, separativa y parcial, conducirá también a una cierta identificación, en la utilización práctica, entre el concepto de clima meteorológico y el concepto de clima físico, aunque no se podrá hablar

tampoco de identificación total pués, como anteriormente dijimos, el clima físico quedaba referido a las condiciones temperamentales de habitación exclusivamente y asociada a las circunstancias geográficas del substrato, mientras que el clima meteorológico engloba las condiciones temperamentales como un aspecto más de la diversidad de condiciones impuestas, nó por el sutrato terrestre, sino por la evolución de los estados de la atmósfera. Sin duda el concepto de clima físico fué abrogado por este tipo de realización sobre el clima meteorológico por estar mejor fundamentadas y ser más completas: recordemos que un elemento como la precipitación no había tenido prácticamente cabida en las elaboraciones del clima físico.

La elaboración climatológica separativa y parcial destinada al conocimiento del medio físico terrestre se encauzó especialmente en el contexto de las Ciencias Geográficas y Biológicas. Aquí, la utilización práctica del concepto de clima meteorológico condujo, como anticipábamos, a un desarrollo sectorial de los aspecto englobados en el mismo: no todos los elementos del clima tuvieron una igual valoración: ésta estuvo en función del finalismo con el que estuviera provisto el análisis: para el finalismo particular de la Geografía y la Biología (que fueron las que hicieron, si exceptuamos la Meteorología, un mayor uso del clima meteorológico para sus objetivos particulares) las temperaturas y las precipitaciones constituyeron los datos que despertaron un mayor interés, llegando a representar, como hoy aún se supone en determinados sectores, los elementos primordiales de la caracterización climatológica. Este hecho vino en gran medida posibilitado y conectado con la condición separativa, analítica, con que estaba provista desde sus inicios esta forma de proceder sobre el clima.

Esta utilización de determinados datos climáticos (entendidos por extensión como "el clima") tuvo un lugar importante en el seno de la **Geomorfología alemana de finales del S.XIX y principios del XX.** La Geomorfología en este contexto se caracterizó por unas concepciones que constituyeron la única alternativa importante a las directrices adoptadas por el método geomorfológico cerrado de DAVIS: se centró en una clasificación de configuraciones fisionómicas donde se tomaron en consideración hechos no estrictamente geomofológicos (no es, por tanto, cerrada sino abierta) tales como el clima (Ver GOMEZ MENDOZA y OTROS 1982 p.37). Las palabras de una personalidad tan representativa de este contexto como A.PENCK pueden ser significativas:

**"...En lugar de la tradicional división de la superficie terrestre en zonas climáticas enmarcadas por paralelos -dice PENCK en 'Propuesta de una clasificación climática basada en la fisiografía'-,** en los últimos

tiempos se tiende a plantear clasificaciones basadas en las temperaturas y las precipitaciones. Sin embargo, hasta ahora las delimitaciones de regiones climáticas se han realizado desde puntos de vista muy diferentes (...) En el estudio de la superficie terrestre parece posible usar como base el clima (es decir, la interacción de todas las combinaciones atmosféricas), ya que se imprime tan claramente en el paisaje que hace posible la distinción de regiones climáticas sin tener que partir de largas series de observaciones meteorológicas. La influencia del clima en la configuración del paisaje se realiza ante todo por medio de la forma en que se producen las precipitaciones (...). En el aspecto climático lo importante es saber si el agua precipitada se evapora por completo, dejando el suelo seco, o nó..." (En GOMEZ MENDOZA y otros 1982 p.188-9). Como observamos se valoran sólo algunos de los elementos que integran el clima meteorológico (la evaporación y la precipitación) aunque se reconoce que el clima es la interacción de todas las condiciones atmosféricas; tal y como hemos dicho antes, las consideraciones sobre el clima meteorológico están provistas de un finalismo particular (el de la fisiografía en este caso) diferente o externo al estudio del propio clima lo cual conduce a una concepción parcial del mismo. De este hecho, yá casi una costumbre en la época, es consciente el propio PENCK quién lo recoge, cuando afirma que las delimitaciones se han realizado "desde puntos de vista muy diferentes", y lo pone en práctica confeccionando una clasificación propia que sirve a sus objetivos particulares.

Fuera de este marco también encontramos otras numerosas aproximaciones parciales al clima meteorológico con un finalismo fisiográfico o geomorfológico; concretamente, la interpretación de las anomalías en el drenaje de los continentes a partir de valores termopluviométricos que E. DE MARTONNE introduce en una serie de artículos (*) puede ser igualmente representativo a este respecto.

Otras áreas que pretendían el conocimiento del medio físico terrestre, pero diferentes a la Geomorfología, también llevaron a cabo sus propias aproximaciones al clima meteorológico: la Hidrología, por ejemplo; y cada una de ellas contribuía a una determinada elaboración parcial del clima plasmada y expresada, en numerosos casos, en la formulación de un índice o una clasificación climatológica destinada a fines particulares.

Ahora bien, el área que, probablemente, recurrió de

---

(*)"Une nouvelle function climatologique, L'Indice d'aridité" Rv. La Mét. 1926 "Areisme et Indice d'arité" C.R.ac. D. 1926) y que también llega a recoger en su Tratado de Geografía Física (1964 p.250 y 1010).

forma más sistemática al dato climático para unos fines externos o extraños al conocimiento del propio clima fueron los trabajos que tenían como objeto el **estudio de la vegetación.** En primer término, el desarrollo de este aspecto aplicado de los trabajos sobre el clima meteorológico ocupó un lugar importántisimo en la corriente de corte naturalista de investigadores alemanes (a la cual también pertenece el aludido PENCK) que mantuvieron en alguna forma las pretensiones humboldtianas de globalidad y de integración contenidos, destacando entre otros, A.SUPAN y W.KOPPEN (Ver J.GOMEZ MENDOZA y otros 1982 p.25).

El fruto más significativo de estos trabajos está, sin duda alguna, constituido por la elaboración de clasificaciones climáticas. El trabajo de A.SUPAN, en torno a 1879 **"...ha señalado -dice M.PINNA- una etapa importante en la historia de las clasificaiones del clima..."** (PINNA 1977 p.307) y consistió en la localización y delimitación de ciertos valores térmicos particularmente significativos (en función de. finalismo con que quedaba provisto); hacia 1896 sugirió una división del globo en 35 provincias, cada una para una determinada combinación de elementos, que son reproducidas (MILLER, A.A. 1975 p.108) en el Atlas of Meteorology de BARTHOLOMEW. Probablemente sugestionado por la labor de SUPAN, en 1884 KOEPPEN desarrolló su clasificación basada, en principio, sobre valores térmicos aunque, entre 1900 y 1931, KOEPPEN introdujo una serie de variaciones para dar entrada, junto con los criterios térmicos, a los criterios de aridez y el ritmo estacional de precipitaciones. Para A.N STRAHLER 1982 p.240) fué **"...el primero en clasificar los climas teniendo en cuenta simultáneamente las características de precipitación y temperatura, pero fijando también límites ajustados a la distribución de los tipos de vegetación conocidas...".** Estableció sus criterios térmicos en la defincion de los grupos de vegetación según una base fisiológica realizada por DE CANDOLLE en 1874 (KOEPPEN 1948 p.158).

KOEPPEN representa, para nosotros, uno de los casos más significativos de este contexto de aproximación parcial al clima meteorólogico para unos fines externos o extraños el conocimiento del propio clima: la vegetación. Este meteorólogo afincado en Alemania no sólo admite el finalismo en Climatología sino que, además, lo practica hasta constituir, como hemos dicho, la vegetación (un elemento de la superficie de la tierra extraño a los elementos propiamente atmosféricos) uno de los criterios básicos en el establecimiento de su clasificación climatológica, la elaboración por la que es más conocido KOEPPEN. Incluso potencia el finalismo en sus propias concepciones: por esto, a una primera definición de clima como **"...el estado medio y proceso ordinario del tiempo de un lugar determinado..."** (KOEPPEN p.19) contrapone

otra segunda definición donde entiende el clima como "...La suma total de la condiciones atmosféricas que hacen un lugar de la superficie terrestre más o menos habitable para los seres humanos, animales y plantas..." (KOEPPEN 1948 p.20); además incorpora la contraposición entre Meteorología Sinóptica y Climatología:

"...Mientras la meteorología tiene como finalidad la previsión del tiempo de cada día y el pronóstico de las tempestades, la climatología propociona al agricultor, al industrial, al médico, etc., las bases para poder apreciar, en un lugar determinado, la influencia de esos fenómenos, de acuerdo con su proceso natural, sobre el desarrollo de los vegetales, sobre actividades industriales, enfermedades, etc. Esta tendencia a relacionar la climatología con las actividades humanas, ha desempeñado desde sus comienzos un papel importante, aún en los esfuerzos que se hicieron para determinar los límites de esta ciencia, en el sentido de que se admite como partes integrantes del clima sólo aquellas condiciones meteorológicas que influyen de un modo directo en la vida orgánica de la naturaleza, en especial en los órganos de nuestro propio cuerpo..." (KOEPPEN 1948 p.20). Como puede observarse la condición de "Ciencia Humana" de la Climatología se había establecido con anterioridad a que así lo determinara MARCHAND según vimos antes.

Esta concepción antropocéntrica del clima, que después reconocerá CHOLLEY y que también nos ha recordado hace poco CH.P.PEGUY (PEGUY.CH.P. 1970 p.19) o, cuando menos, la concepción biosférica, está, como se ve, presente en las concepciones de KOEPPEN, limitando el mismo concepto de clima meteorológico sólo a algunas condiciones meteorológicas como él mismo dice. Pero las clasificaciones climáticas con un finalismo particular, y los conceptos de clima parciales que sostienen, no se detienen con KOEPPEN: se desarrollaron, con modificaciones, sobre todo en la misma Alemania y en U.S.A.: TREWARTA, THORNTHWAITE, etc., llegando incluso hasta la actualidad.

Como podemos observar, las elaboraciones sobre el clima en el marco de la Climatología Tracional, Separativa o Analítica no sólo han consistido en la aproximación estadística a los datos de primera mano ofrecidos por los observatorios meteorológicos; también han consistido en la recomposición de los elementos del clima que habían sido obtenidos separadamente pretendiendo simular unas condiciones reales.

Dos son las formas que ha adoptado la recomposición: por un lado **la combinación** de dos o más elementos teniendo en cuenta ciertos umbrales a través de la clasificación climatológica o, por otro lado, la reagrupación por medio de los **índices empíricos**. Naturalmente, el contexto

donde dimanaron índices y clasificaciones también hizo que estas elaboraciones no estuvieran, de hecho, avocadas al conocimiento del clima en sí mismo sino en función del objeto de estudio superior y extraño que las impulsaba: la vegetación, la morfología, etc...De aquí que hayan proliferado un gran número de ellas distinguiéndose entre sí por la estimación de los elementos climáticos y de los umbrales críticos que se creían de interés particular para ese objeto de estudio superior (*). Esto ha sido la clave de su denominación: "clasificaciones aplicadas".

Las primeras clasificaciones climatológicas se establecieron sobre unas delimitaciones térmicas representadas por unos valores medios de temperatura que se creían críticos en función de la vegetación. SUPAN en 1884 (Ver RILEY y SPOLTON 1974 p.96) destacó las isotermas anuales de 20 y 10 grados centígrados constituyendo un antecedente de la clasificación térmica posterior de KOEPPEN. La importancia del factor térmico para estas primeras clasificaciones revela en parte la tradición anterior encauzada bajo el concepto de clima físico.

Pero pronto las clasificaciones se complicaron en dos sentidos: incorporando otras variables, las precipitaciones principalmente, como es el caso de la segunda clasificación (1918) de KOEPPEN y, por otro lado, incorporando otros parámetros complementarios de la media anual como es el caso de los regímenes anuales que es la expresión de la condición periódica, y, por tanto, permanente del hecho climatológico: el concepto de régimen, que yá aparece en KOEPPEN, implica la utilización de varios valores los cuales definen la periodicidad media de tal modo que no se limitan al valor medio sino al máximo y su época, y al mínimo y su época, aunque en ocasiones se completan con valor máximo secundario y el mínimo secundario así como las épocas respectivas cuando en vez de un régimen típico simple se trata de un régimen típico doble (JANSA 1954 p.577).

Para la descripción geográfica , por ejemplo, han sido muy útiles las clasificaciones basdas en los regímenes anuales pluviométricos y termométricos, como la llevada a cabo por MARTONNE en su tratado de Geografía física: en relación con esto la descripción gráfica por medio de curvas anuales termopluviométricas ha tenido una gran extensión.

---

(*)Como afirma CH.P.PEGUY: "...No se debe perder de vista que ninguna "clasificación" de los climas puede ser polivalente. Si la climatología tiene bien merecido el nombre de ciencia aplicada, sus aplicaciones son numerosas para que cirterios simples pueden satisfacer todos los usos..." (PEGUY 1970 p.320). Esto que se afirma para las clasificaiones puede hacerse perfectamente extensivo a los índices.

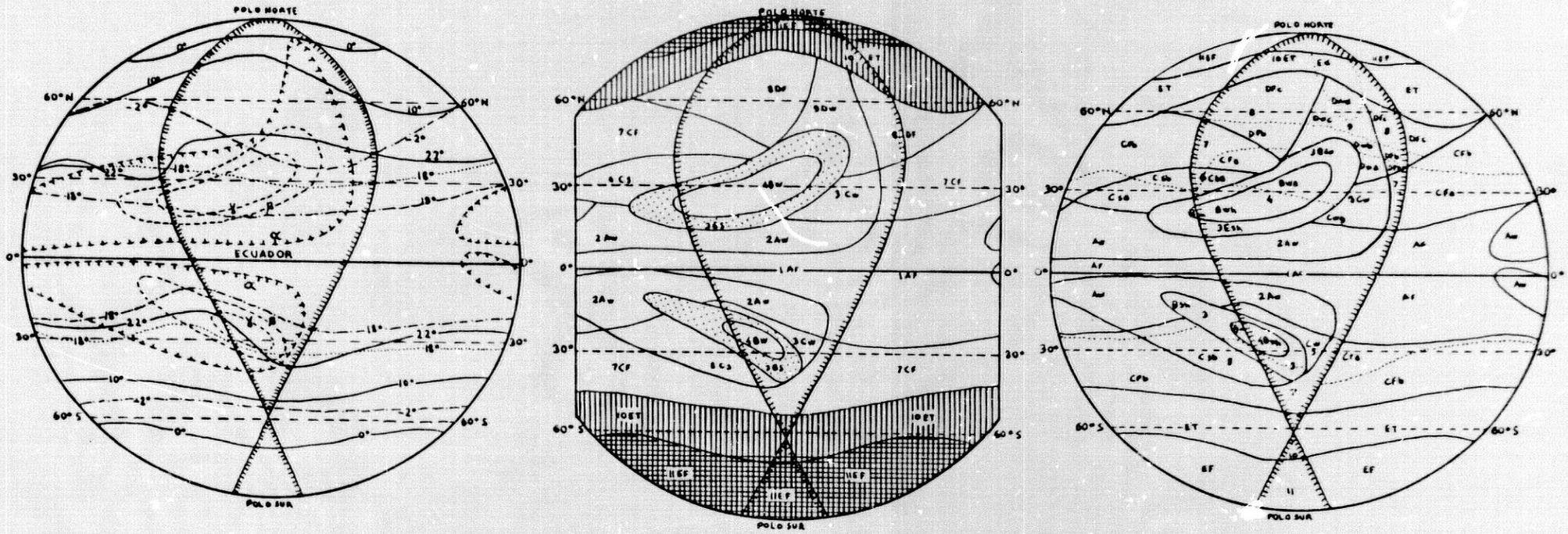



Figura 3.: Esquema de isotermas y líneas de igual sequedad de importancia decisiva (Izquierda). Esquema de los 11 climas fundamentales (Centro). Esquema detallado de los climas según la clasificación de KOEPPEN

FUENTE : KOEPPEN (1948).

También se han llevado a cabo representaciones de la combinación de los tipos de regímenes de ciertos elementos climatológicos: el régimen anual y el diario: un buen ejemplo es el diagrama de termoisopletas o diagrama de CARL TROLL.

En otras ocasiones se han podido incluir otros parámetros complementarios totalmente diferentes como es el caso de la fecha de las primeras y últimas heladas (es decir la consideración del período libre de heladas) que, por ejemplo, se tiene en cuenta en la clasificación de PAPADAKIS. La clasificación de PAPADAKIS destaca ante todo por su carácter aplicado a la agronomía: si MARTONNE denominaba cada tipo de clima con el nombre de una región geográfica donde era típico, PAPADAKIS denomina los regímenes con el nombre de una planta de cultivo característica: él establece el clima de un lugar tomando en cuenta, de forma muy profunda, el concepto de régimen considerando las condiciones térmicas para el cultivo (regímenes térmicos) y las condiciones hídricas (regímenes de humedad) como una secuencia de doce climas mensuales: **"...La manera más exacta de describir el clima de un lugar es dando las fórmulas climáticas de los 12 climas mensuales que lo componen..."** (PAPADAKIS 1980 p.69). La recomposición de los elementos separativos del clima para aproximarse a la realidad que la evolución del tiempo atmosférico impone a la Agricultura se lleva a cabo por tanto considerando una serie de parámetrtos climatológicos que se definen o se describen por una fórmula climatológica la cual queda establecida por medio de una terminología detallada y precisa (por unos símbolos) y, además, "abiertas" según el propio autor (PAPADAKIS 1980 p.15).

Por otro lado, el carácter parcial de las consideraciones sobre el clima desde estas perspectivas se destaca cuando se han llevado a cabo a partir de un **índice empírico**. Como expresa M.PINNA la repartición de la superficie terrestre en tipos climáticos puede obtenerse por medio del estudio de una característica particular del clima, o por medio de un factor limitante que condiciona profundamente el ambiente climático. En el primer caso encontramos los índice de continentalidad de W.ZENKER o el de N.H.IVANOW (PINNA 1977 p.309-312). En el segundo caso encontramos los índices limitantes o determinantes formulados en relación con el crecimiento de las plantas o los grupos de vegetación basándose, según BARRY & CHORLEY (1972 p.365-6), sobre dos criterios principalmente: la aridez y la temperatura: un ejemplo queda constituido por la relación precipitación/temperatura de R.LANG (1915) o la de A.A.MILLER (1951), similar al anterior, sólo que el factor temperatura se retiene utilizando el concepto de "grados mes": también aquí podríamos incluir el índice de BIROT (1945), o el de EMBERGER (1932) así

como la consideración de meses secos (GAUSSEN), etc... En este caso de los índices limitantes un buen número de trabajos se ha establecido en forma de balances: entre todos ha destacado el balance hídrico donde el cálculo empírico de la evaporación y de la evapotranspiración es fundamental: PENMANN (1948) THORNTHWAITE (1948), TURC (1953-61) BLANNEY y CRIDDLE, etc...Dichos balances han tenido gran éxito sobre todo representados en gráficos de evolución anual; pero los diagramas han podido incorporar numerosos datos de diversa índole como el período de helada segura, período de helada probable, etc...como es el caso de los diagramas climáticos ideados por WALTER y LIETH íntimamente conectados con el Atlas Mundial Fitoclimático. Igual que ha habido formulaciones de índices en relación a la vegetación, también las ha habido en relación a otras áreas de conocimiento, como antes hemos dicho.

Las clasificaciones climáticas aplicadas y los índices que las sostienen han dado lugar, generalmente, a una división espacial demasiado brusca e irreal; esto ha sido reconocido parcialmente en el seno de la misma corriente de la Climatología Tradicional por personalidades como PAPADAKIS quién comenta de las clasificaciones racionales y deductivas de las del tipo de THORNTHWAITE que se realizan utilizando líneas arbitrarias por medio de las cuales los climas se dividen "...de 1 a 2, de 2 a 3, etc...como se divide una tarta" (PAPADAKIS 193? p.12).

No obstante, en la evolución de la Climatología Tradicional destaca que, desde no hace mucho tiempo, se han llevado a cabo importantes renovaciones. Llama la atención, en particular, el establecimiento de los climas a partir de las relaciones y las discontinuidades que existen entre ellos, es decir, al establecimiento de una clasificación inductiva donde se parte de la compleja información de base, al contrario que las clasificaciones anteriores, deductivas, las cuales separaban arbitrariamente los climas a partir de unos parámetros apriorísticos de tal modo que el esquema de la clasificación era el punto de partida, nó una conclusión (PEGUY 1983 p.290).

Las clasificaciones aplicadas han sido establecidas a partir de medias aritméticas. Sin embargo,destaca también en la evolución de la Climatología Tradicional desde hace algún tiempo la utilización de las frecuencias para expresar el comportamiento de un elemento climático;las frecuencias han complementado o han sustituido el clásico régimen medio de tal modo que permiten partir de una definición de los climas de un mismo punto según las sucesiones particulares de las observaciones en el curso de los años, muy útil para definir adecuadamente las zonas donde las condiciones son muy irregulares o las zonas tradicionalmente denominadas "climas de transición" (PEGUY 1983 p.201).

De todos modos uno de los hechos perfectamente constatables en la Climatología Tradicional y en los índices, en los balances o en las clasificaciones climáticas aplicadas en general es la limitación que supone el finalismo con el cual se han llevado a cabo: no nos describen los climas o el clima sino ciertas condiciones climáticas de interés particular: la elección de los elementos del clima y la definción de los umbrales no puede ser la misma cuando la clasificación se establece para estudiar la morfología terrestre, o las enfermedades que cuando la clasificación se destina al estudio de la vegetación. A esto se añade su condición descriptiva.

En Geografía, concretamente en ciertos estudios clásicos regionales, se ha dado una curiosa y significativa situación: la consideración del clima que ha estado en función de los diversos aspectos físicos y humanos de la región estudiada, no se lleva a cabo sin embargo para la comprensión global y profunda del propio clima y se ha visto obligada a yuxtaponer múltiples clasificaciones e índices climáticos para la comprensión particular de cada uno de esos aspectos físicos y humanos.

La recomposición del clima vinculando determinadas caracterizaciones (medias, valores mínimos, frecuencias, etc...) de algunos elementos (precipitación, humedad, temperatura, etc...)obtenidos de forma separativa parece haber satisfecho en parte a quienes precisaban de ciertos fenómenos climáticos para el análisis de otros objetos de estudio específicos como la vegetación, las epidemias, la agricultura, etc... Efectivamente han proliferado en diversos campos desde finales del S.XIX hasta la actualidad de tal modo que nosotros hemos podido sólo dar una visión tremendamente sucinta pues un análisis más detallado rebasaría con creces el marco de estas reflexiones. Ahora bien ¿pueden satisfacer a la Climatología misma?. La respuesta no es simple porque cabe la posibilidad de entender la Climatología como el tratado descriptivo de las analogías que muestran los datos diversos recogidos directamente por los observatorios meteorológicos (concepción estadística primaria) o puede también ser entendida como el tratado de las situaciones atmosféricas donde se presentan esos datos en sus combinaciones reales. En el primer caso la aproximación puede establecerse de forma analítica o separativa y empírica en torno a las consecuencias de los procesos atmosféricos más representativos, normalmente precipitaciones y temperaturas, independientemente de estos procesos, tal y como hemos visto: en el segundo caso se establece en torno a las características del tiempo atmosférico en su globalidad precisamente a través de esos procesos.

No cabe duda de que para "las Climatologías" configuradas según el finalismo, es decir para la Climatología



aplicada a la vegetación, a la morfología, etc...la primera concepción puede ser satisfactoria pero, para un estudio del clima en sí mismo, nó. Por el contrario la segunda concepción puede ser válida tanto para una Climatología teórica como para una Climatología aplicada a cualquier aspecto externo a esta disciplina. Desde nuestro punto de vista el concepto de Climatología cultural o Climatología humana, que establecen PEGUY y MARCHAND (PEGUY y MARCHAND 1982), es un estadio del aspecto aplicado de esta disciplina muy intersante que revela, en definitiva, la importancia del dato climatológico aún en la actualidad respecto a temas cruciales para el propio hombre. Sin embargo también pensamos que puede ser conveniente hacer preceder la Climatología teórica a la Climatología aplicada, la Climatología física a la Climatología humana, la Climatología del tiempo atmosférico en conexión a las realidades atmosféricas a la a Climatología de los "numeros" recogidos en el observatorio meteorológico.

## IV.2.3. La vertiente físico-teórica de la formulación climatológica

En el contexto de la Edad Contemporánea también serían llevadas a cabo, bajo una concepción climatológica, diversas elaboraciones sobre el tiempo atmosférico pero, ahora, tomándolo en toda su dimensión de realidad compleja, teniendo en cuenta los procesos atmosféricos donde éste, con sus evoluciones, tiene lugar; la importancia de dichas elaboraciones, sobre todo a partir de las postrimerías del S.XIX, acabaría por distinguir una segunda vertiente en la formulación del concepto de clima y de la propia Climatología. Precisamente ALBENTOSA apunta que la preocupación por los problemas de la atmósfera en relación con el clima alcanza una gran difusión durante los últimos decenios del S.XIX, motivo por el cuál se elige este período como base cronológica de las nuevas tendencias (ALBENTOSA 1976 p.143). El término "nuevas tendencias" que acabamos de recoger lo ponemos en clara contraposición, por tanto, a las tendencias tradicionales sobre las cuales hemos hablado en el apartado anterior.

No cabe duda de que, en este contexto del clima meteorológico, los adelantos dados por la Meteorología contemporánea han tenido, de forma sistemática, una repercusión profunda e inmediata en el desarrollo de la elaboración climatológica en una u otra dirección. De tal modo, si el desarrollo básico de la Meteorología, correspondiente a la extensión cuantitativa y cualitativa de las observaciones meteorológicas, tuvo una plasmación en el impulso de los trabajos climatológicos en torno a estas observaciones bajo la vertiente tradicional, analítica o separativa, el desarrollo teórico de la Meteorología, correspondiente a los avances dados en el conocimiento del funcionamiento del medio aéreo y del tiempo

atmosférico a través de los mapas sinópticos y de las concepciones físicas de la atmósfera, tuvo también su plasmación en el impulso de esta otra perspectiva de la Climatología y de un concepto de clima acorde con los hechos que manifestaban esos mapas sinópticos y esas concepciones físicas atmosféricas.

La nueva vertiente de la Climatología comienza su singladura en el S.XIX con un desarrollo prácticmanete paralelo a la Climatología Tradicional, pues, ambas, se encuentran en el mismo marco de la Meteorología, aunque sin grandes puntos de contacto entre ellas. De tal modo, durante el período que comprende el S.XIX y comienzos del S.XX se estaban fraguando dos tipos de elaboraciones climatológicas y dos concepciones del clima bastante diferentes e independientes una de la otra pero de ningún modo enfrentadas, más bien eran complementarias estando destinadas a fines distintos: una a la previsión a largo plazo del tiempo, el cual es tomado como realidad atmosférica compleja, global y cambiante; la otra destinada a cada una de las diversas consecuencias meteorológicas del tiempo atmosférico sobre la superficie de la tierra (los elementos del clima) como aspectos esencialmente permanentes y separados entre sí.

En el marco de los inicios del conocimiento climatológico del tiempo atmosférico en conexión con los rasgos de la circulación atmosférica (segunda mitad del S.XIX) tenemos ya realizaciones tan ejemplares como los estudios de TEISSERENC DE BORT sobre las consecuencias que, en el régimen y en los caracteres del tiempo atmosférico, tiene la posición de unos elementos-clave de la circulación atmosférica regional: los centros de acción; este concepto, de gran significación para la Climatología, fué por él mismo introducido según vimos; esto lo lleva a cabo en Etude sur la position des grandes centres d'action de l'atmosphére au printemps (TEISSERENC DE BORT 1881); tal y como comentábamos, TEISSERENC DE BORT puede ser reputado como el iniciador de la previsión a largo plazo.

En una línea similar y por esta misma época, ABERCROMBY escribe Weather: a popular exposition of the nature of wather changes from day to day (1887) y un artículo On certain types of British weather (1883); estudió las condiciones del tiempo sobre las Islas Británicas en relación con las cuatro direcciones principales del viento. Poco antes KOEPPEN (1874) había analizado los efectos de seis grandes tipos de configuraciones isobáricas (centro ciclónico y centro anticiclónico, isobaras ciclónicas rectas y curvas, isobaras anticiclónicas rectas y curvas, y situaciones intermedias), y los flujos de aire asociados, sobre el tiempo en Leningrado; hacia 1882 VAN BEBBER llega a culminar otros trabajos anteriores (los de BRANDES) clasificando cinco grandes vías en el movimiento de

las depresiones en Europa y determina las condiciones del tiempo para cada vía según las estaciones; y en 1895 VAN BEBBER y KOEPPEN realizan una clasificación completa de modelos de presión para el Atlántico Norte y Oeste de Europa.

Como podemos observar a través de estos ejemplos, las primeras aproximaciones climatológicas al tiempo atmosférico a través de los rasgos de la circulación local o regional se desarrollaron de forma casi simultánea a la elaboración del primer planisferio de distribución de presiones, el de precipitaciones, los primeros Atlas meteorológicos, las primeras clasificaciones climatológicas, etc... que representan las plasmaciones iniciales de importancia de la otra vertiente de la Climatología. El paralelismo entre la Climatología Tradicional y la Nueva Climatología (La Nueva Climatología queda aquí representada por una rama suya denominada Climatología Sinóptica) tal y como antes planteábamos, es perfectamente patente en las últimas tres décadas del S.XIX revelando esa causa común que es el florecimiento de la Meteorología contemporánea. Los trabajos acumulados anteriormente en la extensión de la red meteorológica y en el avance de la incorporación de los conceptos de la Nueva Física a la interpretación del tiempo por parte de los meteorólogos empezaba a dar sus frutos en el campo de la Climatología científica bajo una y otra vertiente.

Pero, tal y como le ocurrió a la Climatología Tradicional, este contexto de finales del S.XIX, donde se llevaron a cabo los trabajos iniciales sobre estos otros aspectos del clima meteorológico y las primeras clasificaciones de tipos de tiempo, dió inicio a una línea de trabajo que no se detendrá aquí: las elaboraciones de este tipo se desarrollaron en número y en calidad, al mismo tiempo que mostraron una evolución importante: si bien es cierto que algunos de los frutos de la aplicación de los presupuestos de la Física y de la Física atmosférica decimonónica a la interpretación del medio aéreo sirvieron a la construcción de la Meteorología y de sus elaboraciones, no es menos cierto que la aplicación de otros logros científicos posteriores en el conocimiento de la atmósfera darán como fruto una evolución en las teorías sostenidas por la Meteorología, tal y como hemos visto.

La importancia que esto tiene para la segunda vertiente de la Climatología es fundamental: porque, mientras la evolución de la Climatología Tradicional estaba en situación de dependencia, según vimos, con respecto al desarrollo de los medios y las técnicas estadísticas así como por las exigencias de las áreas de conocimiento y los objetos de estudio que precisaban del dato climatológico para sus fines aplicados particulares, la evolución de la Climatología bajo esta segunda vertiente (la "Nueva

Climatología"), sin embargo, dependía estrechamente de los avances operados en la interpretación del medio aéreo, es decir, dependía de la evolución de las teorías sostenidas por la Meteorología en Física atmosférica y, especialmente, en lo concerniente a la dinámica atmosférica.

Concretamente, para el desarrollo de las nuevas tendencias de la Climatología contemporánea, los pasos más decisivos dados en el contexto de la Física Atmosférica y de la Meteorología son cuatro:

A. El primero fué el de la misma **concepción y comprensión física del mapa sinóptico** que permitió la identificación y la profundización en el conocimiento de los individuos isobáricos así como de su comportamiento meteorológico y su influencia en las características del clima, tal es el caso, por ejemplo, de TEISSERENC DE BORT en relación a los centros de acción, el de VAN BEBBER en relación a las depresiones móviles, etc...; y también permitieron las aproximaciones a los rasgos de la circulación atmosférica en conexión con las características asociadas del tiempo, sobre una escala fundamentalmente regional o local, tales como las llevadas a cabo por ABERCROMBY, KOEPPEN, etc...según hemos anticipado anteriormente. Como dice A.LINES ESCARDO refiriéndose a los logros más básicos conseguidos en este período "**...en el siglo pasado, al conocerse gracias a BUYS BALLOT y otros la configuración y circulación dentro de los sistemas de altas y bajas presiones, se perfeccionaron notablemente los anteriores conocimientos y se sentaron las bases de la Meteorología sinóptica...**" (LINES ESCARDO 1981 p.5). Todas las realizaciones de la Climatología sinóptica a las que hemos aludido son precisamente el producto del establecimiento de las bases de la Meteorología Sinóptica y fueron llevadas a cabo por los mismos meteorólogos cuyos trabajos se establecían mostrando esta característica ambivalencia entre una y otra vertiente (la vertiente Nueva y la Tradicional) de la Climatología.

B. El segundo gran avance de la Meteorología con una profunda repercusión en las elaboraciones de esta Climatología corrió a cargo de la escuela de Bergen. Sobre todo interesa **el descubrimiento del frente polar y la teoría de las ondas ciclónicas** que fue la base de un nuevo método de previsión del tiempo basado en la consideración de los frentes y las masas de aire: empleando los términos que R.GENTILE utilizara en 1947 (GENTILE,R. 1947 p.315), se trata del paso del "método de las isobaras" al "método de los frentes". La previsión del tiempo incorpora al planteamiento anterior (*) de los tipos isobáricos (centrado en el problema: ¿donde está y donde va el ciclón? ¿donde el anticilón?) estos elementos son básicos en la caracterización física del medio aéreo: los frentes y las masas de aire. En este contexto, donde se

reconoce la existencia en la atmósfera de cuerpos aéreos homogéneos o masas de aire, se llevó a cabo también la clasificación de éstas, tarea que fué realizada por T.BERGERON en 1928 por primera vez: se distinguieron un total de seis tipos de masas de aire en función del área manantial (artico, polar y tropical) y de las características (marítimas o continentales) del lugar donde se crean y de las trayectorias que siguen en su desplazamiento. Simnultáneamente, como anota P.PEDELABORDE (1957 p.58), T.BERGERON crea el término "climatología dinámica" y define las grandes líneas del método en dos artículos: Uber die dreidimensional verknupfznde Wetteranlyse (1928) y Rictlinien zier dynamischen Klimatologie (1930).

En los años posteriores los estudios sobre las frecuencias y las propiedades de las masas de aire en diversas regiones del planeta proliferaron enormemente dando lugar a lo que se ha denominado "Climatología de las masas de aire": WILLET (1933) en U.S.A.: TU (1939) y LU (1945) en China: ARAKAWA (1937) en Japón; BELASCO (1952) en Gran Bretaña: SCHAMA (1939) en el Mediterráneo: ROY (1949) en la India: PETTERSSEN (1940) en el Hemisferio Norte: GENTILLI (1949) y TALJAARD (1969) en el Hemisferio Sur, etc... (Ver BARRY & PERRY 1973 p.179-182). El estudio de las masas aéreas troposféricas en España sería llevado a cabo por BIEL LUCEA en 1943.

La consideración de las masas de aire, de sus desplazamientos y de sus enfrentamientos reforzó en la concepción del tiempo atmosférico el carácter de realidad física, dinámica y sintética, de realidad compleja y global, con el cual queda investido: de tal modo, el concepto de clima establecido a partir de las variaciones atmosféricas o en torno a la evolución de los estados de la atmósfera cobró aún mayor sentido, y esta segunda vertiente de la Climatología, que yá se había esbozado antes, con este logro de la Meteorología se consolidó fuertemente. Por otro lado, junto a esta condición atmosférica, la condición geográfica del concepto de clima (la cual le es inherente también), lejos de perderse, se vió igualmente reforzada porque la clasificación de masas de aire elaborada por BERGERON tiene en cuenta como hemos visto las

---

(*)FLAMMARION escribía respecto a la precursión del tiempo: "...las variaciones del tiempo son principal y casi exclusivamente debidas a las de presión atmosférica (...) Hemos visto además que estas variaciones de la presión barométrica nos llegan siempre del Oceáno Atlántico y marchan en general yá de Oeste a Este, ya de Sudoeste a Nordeste. Gracias a la inspección de la marcha del barómetro al Oeste de Europa (...) es posible preveer con doce o quince horas de anticipación la llegada de una borrasca a nuestras regiones.."(FLAMMARION 1902 p.351-2).

circunstancias geográficas en que éstas se originan y se desplazan. Como dice PEDELABORDE, esta clasificación de BERGERON describe las combinaciones geográficas completas; de tal forma, por su idoneidad, fue adoptada por este geógrafo (1957 p.134).

C. En el seno de la Meteorología, según vimos, se operarían a partir de 1930 sucesivos pasos respecto al entendimiento e intepretación de los procesos y fenómenos aerológicos para la comprensión de la evolución del tiempo atmosférico. A las consideraciones de raiz termodinámica se incorporaron otras consideraciones sobre mecánica de fluídos; en este último sentido, al conocimiento de lo que SUTTON denomina "dinámica de los sistemas del tiempo" (SUTTON 1966 P.112) contribuyeron yá los meteorólogos del S.XIX (BUYS-BALLOT) y, en el SXX, BJERKNES con sus dos teoremas, DINES y su principio de compensación, SUTCLIFFE y su teoría del desarrollo, etc...Junto a las concepciones de masa de aire y frentes o de ciclón noruego, las nociones de convergencia y divergencia, de ciclogénesis y anticiclogénesis, se consolidaron y las concepciones explicativas-tridimensionales del tiempo atmosférico manifestaron un fuerte impulso: la Climatología se hizo eco de estos avances de tal modo que hacia 1947 MARTONNE habla en su Géographie aérienne de la "Climatología de tres dimensiones" la cual sustituye el punto de vista bidimensional (MARTONNE 1947 p.40-47).

Estos pasos dados en el seno de la Meteorológia que hemos aludido fueron muy importantes para la comprensión de la evolución del tiempo atmosférico, pero fué el descubrimiento de lo que se bautizó con el nombre de Jet Stream y los estudios proseguidos por ROSSBY y la Escuela de Chicago en 1947 y 1949, así como los realizados por NAMIAS sobre las características dinámicas de la circulación templada en la media y alta troposfera, lo que permitió a la Meteorología dar su tercer gran avance según vimos anteriormente. Si la innovación de las masas de aire, en la década de los años veinte, y el conocimiento de la "dinámica de los sistemas del tiempo" en los años treinta y cuarenta, trascendieron inmediatamente al análisis llevado a cabo en esta Climatología, las innovaciones introducidas por la Escuela de Chicago también trascenderían con importancia singular en las elaboraciones sobre el clima: así, tan sólo una década después, aproximadamente, de que ROSSBY pusiera en evidencia la importancia del flujo en altura, en un trabajo de climatología representativo de esta vertiente nueva se escribía: "...Los estudios dinámicos más recientes del clima de Africa del Norte están fundados especialmente sobre las observaciones de las bajas capas de la atmósfera. Los fenómenos definidos por los noruegos, después por QUENEY, representan fenómenos de superficie (...) Nuestro trabajo se propone completar las investigaciones anteriores, integrando todos los tipos de tiempo descritos en modelos

más generales. Estos modelos corresponden a estructuras del flujo en altura, al nivel de los 500 mb. El procedimiento, hoy posible gracias a series aerológicas recogidas desde 1945, presenta dos ventajas. Por un lado, reagrupa una multitud de tipos muy matizados en el interior de cuadros muy amplios, por tanto mas simples. Y, sobre todo, permite conocer los mecanismos esenciales de la circulación mediterránea y definir los trazos verdaderamente específicos de Argelia..." (PEDELABORDE y DELANNOY 1958 p.216). Este puede ser un buen ejemplo, de los muchos que hay, de cómo el avance de la Meteorología marcaba la evolución del quehacer de la Climatología Dinámica y de la Climatología Sinóptica que tán representativas son de las nuevas tendencias.

Asi, la consideración de los mapas de altura y, en ellos, de la corriente en chorro con sus índices de circulación ha llegado a constituir para los trabajos de Climatología (sobre todo de las zonas templadas) un elemento indispensable del análisis, gracias, fundamentalmente, a los hechos desvelados por C.G.ROSSBY.

Por otro lado, con ROSSBY se llega, además, a advertir la importancia de los procesos reales, diarios, del tiempo en la circulación atmosférica: los esquemas figurativos de procesos regulares, ininterrumpidos y, en definitiva, medios, como los había ideado HALLEY, HADLEY, FERREL o el propio ROSSBY son definitivamente abrogados por otros esquemas basados en la dinámica atmosférica real, basados en las observaciones directas de transferencias de energía, momento cinético y humedad, especialmente en las Zonas Templadas, en torno a los movimientos y sucesivas configuraciones de la corriente en chorro. Las consecuencias de estos hallazgos tuvieron su impronta en el definitivo reconocimiento de que el clima, como ocurre a los esquemas de circulación elaborados a partir de promedios, es irreal: las palabras de P.PEDELABORDE, quien aprovechó las ideas nuevas introducidas por aquel célebre meteorólogo una década antes, son un magnífico exponente de la necesidad de que se vió en reconocer en el clima su fundamento en fenómenos (los del tiempo) variables por esencia: "...la alternativa de dos tipos - dice refiriéndose a los índices de circulación- presenta el carácter de un ciclo que permite explicar las variaciones del tiempo y del clima a todas las escalas..." (PEDELABORDE, P. 1957 p.81). El terreno para hacer prosperar una concepción del clima como "conjunto de variaciones atmosféricas" o como "sucesión habitual de los estados de la atmósfera" estaba, de este modo, abonado.

Las investigaciones de ROSSBY, simultáneamente, tuvieron por sí mismas un profundo carácter climatológico pues hacían referencia a configuraciones-promedio atmosféricas obtenidas de la observación directa de la misma: y, simultáneamente, se trata de trabajos esencialmente

teóricos elaborados a partir de planteamientos físico-matemáticos con una indudable fase, también, experimental (las experiencias en laboratorio con recipientes de agua que simulan la atmósfera). Los trabajos de ROSSBY constituyeron una de las pautas para la reafirmación de lo que en la actualidad se viene denominando Climatología Física; y, simultáneamente, estos trabajos dieron pie, por un lado, a la definitiva diferenciación entre la Climatología Dinámica (encuadrada en esa Climatología Física) y la Climatología Sinóptica, por otro lado, dieron pie a la configuración de esta última con algunas connotaciones geográficas que, de hecho, la sitúan entre la Climatología Tradicional geográfica y la Climatología Dinámica, es decir, la Climatología más propiamente meteorológica (entendiendo ahora Meteorología en conexión al estudio de la Física atmosférica), de la cual coge sus elaboraciones e interpretaciones físico-matemáticas para aplicarlas al conocimiento de ese complejo fenómeno fundametado en la evolución del tiempo que es el clima.

D. Los tres grandes avances dados por la Meteorología, con claras repercusiones para la elaboración climatológica bajo esta segunda vertiente fueron completados por un cuarto y último avance o paso dirigido, a diferencia de los anteriores, exclusivamente en el terreno de la Climatología Física: consiguientemente, la influencia del avance de la Meteorología en la configuración de las nuevas tendencias constituidas en el seno de la Climatología Contemporánea es la consecuencia (en este caso concreto que nos ocupa) del interés directo que la Meteorología muestra por determinados fenómenos conceptualizados como climatológicos: de este modo, será del interior mismo de la Meteorología de donde surgirá la nueva tendencia en la elaboración climatológica, una nueva tendencia que, en su nacimiento y desarrollo, encontrará todo un entramado de características distintitivas y diferentes a las otras tencencias desarrolladas bajo esta segunda vertiente de la Climatología.

Como veremos en el momento oportuno, esta tendencia climatológica que ha tomado el nombre de Climatología de los balances, Climatología energética, etc...tratará de un **estudio físico del clima, fundado en modelos matemáticos**, íntimamente conectado con las preocupaciones medioambientales y abordado bajo las perspetivas sistémicas. A través suya se pretende conocer el armazón físico más permanente de la estructura atmosférica, la base reguladora de su funcionamiento, donde tiene lugar la circulación atmosféricaa real. Desde nuestro punto de vista, se ha tratado de sustituir los antiguos esquemas de circulación general, que no podían ser explicativos de nada por su evidenciada simplicidad y falta de correspondencia con la realidad (como quedará demostrado desde ROSSBY), por las bases físicas racionales de la estructura atmosférica. Naturalmente, como veremos, entre esas bases

físicas, los flujos de materia y energía (reflejados en balances, de donde le viene el nombre a esta Climatología) establecidos entre los elementos que componen el "sistema climático" o los flujos establecidos entre el conjunto de los elementos del sistema y el exterior, constituyen los objetivos primordiales. Los avances de la Física Contemporánea en el terreno de la Termodinámica y en el terreno de la radiación hicieron posible este avance de la Meteorología en donde el fenómeno energético ocupa una posición central.

Esta Climatología de los Balances es, junto con la Climatología Dinámica (de la cual hablábamos anteriormente) una parte sustancial, también, de la Climatología Física y se corresponde muy estrechamente, asimismo, con la denominada Climatonomía. Pero es especialmente la Climatología de los Balances la que ha ido ganando en Meteorología, cada vez más peso específico: la preocupación del meteorólogo por los procesos atmosféricos que conducen a la prognosis del tiempo atmosférico se ve cada vez más compartida con su preocupación por aquellos otros procesos o hechos físicos que posibilitan preveer los cambios climáticos, fines a los cuales sirve, entre otros, la Climatología de los Balances.

A través de estos cuatro grandes pasos operados por la Meteorología no nos cabe duda de que, como decíamos la conexión del clima, como concepto abstracto, con el tiempo atmosférico, hecho real pero tremendamente complejo, posee una incuestionable **dimensión histórica:** no fué heredada de la Antigüedad sino que, para su creación, debió aguardar a determinadas circunstancias representadas en contextos concretos de la historia de la Ciencia y, cuando se creó, esa conexión clima/tiempo no se mantuvo estática, evolucionó junto a la evolución mostrada por aquellos contextos que dieron pie a su inicio: el paralelismo entre la evolución de las concepciones de la Meteorología (sobre los fenómenos o los procesos atmosféricos que inciden en la caracterización del tiempo) y la evolución de las elaboraciones de esta vertiente de la Climatología es, a este respecto, significativo. Mientras tanto, las construcciones de la Climatología Tradicional no se veían influenciadas de forma profunda por los avances de la Meteorología en la interpretación del tiempo atmosférico, porque el concepto de clima que mantenía no estaba realmente próximo a éste (el tiempo atmosférico) como fenómeno complejo y global, físico, sino, más bien, a los datos proporcionados por el observatorio meteorológico.

En este sentido las elaboraciones sobre el mapa sinóptico en el S.XIX, las aportaciones de la Escuela de Bergen y las de Chicago en la primera mitad del S.XX y las modelizaciones físico-matemáticas de los balances de energía y materia en la atmósfera de los años 50-80 son

destacables de una manera muy especial para estas perspectivas de la segunda vertiente de la Climatología. "...BJERKNES -nos dice LOPEZ GOMEZ- abrió un nuevo camino a la Meteorología y Climatología con la idea de las masas de aire y frentes. Después, el mejor conocimiento de la troposfera entera representa el segundo paso adelante; pudiera compararse con lo que sucedió en el pasado siglo el avance de la Geología. Si la estructura geológica es fundamental en el relieve terrestre, la atmosférica lo es en el clima..." (LOPEZ GOMEZ, 1955 p.299).

Esta importancia que, como apunta LOPEZ GOMEZ, tiene la estructura atmosférica en el clima hace que los estudios teóricos llevados a cabo por los meteorólogos acaben por hacerse incispensables para el trabajo práctico del climatólogo. Dichos estudios se han encuadrado fundamentalmente:

En lo que hoy conocemos con el nombre de Climatología Dinámica cuya misión es la de explicar matemáticamente, por medio de leyes físicas (las de la termodinámica y las de la mecánica de fluidos), la circulación y las perturbaciones de la atmósfera, incidiendo simultáneamente en las frecuencias e intensidades medias de los sistemas de circulación a través de las cuales se establecen una serie de circulaciones-promedio (ALBENTOSA 1976 p.141).

En lo que hoy conocemos con el nombre de Climatología de los Balances o Energética cuya actividad se ha dirigido hacia la consideración sistémica del clima, intentando penetrar en el conocimiento de los mecanismos que regulan el clima y sus fluctuaciones, y conectando con las preocupaciones medioambientales.

### IV.2.3.1. La Climatología Dinámica y la Climatología Sinóptica en el marco de la Meteorología.

En el marco de la Meteorología hay que diferenciar yá el concepto de Climatología Dinámica del de Climatología Sinóptica pués son sensiblemente distintos: como anotan BARRY & CHORLEY "...la climatología dinámica trata esencialmente de los funamentos físicos y dinámicos de los modelos de circulación atmosféricos basados en generalizaciones de los datos meteorológicos, mientras que la climatología sinóptica interpreta los climas locales o regionales con relación a la circulación en gran escala..." (BARRY & CHORLEY 1972 p.15). Ahora bien, el hecho de que la Climatología Sinóptica y la Climatología Dinámica sean diferentes no quiere decir que esten desconexionadas. MOUNIER indica que estas dos orientaciones, apenas separadas en la Escuela Noruega, ahora muestran técnicas y métodos diferentes pero ambas "...sitúan la explicación de los fenómenos atmosféricos a dos niveles aportando resultados complementarios y reciprocamente

útiles..." (MOUNIER 1977 p.39). Las elaboraciones de la Climatología Dinámica, llevadas a cabo fundamentalmente por los meteorólogos, son indispensables para los estudios sobre el clima en el marco de la Climatología Sinóptica desde el momento en que la clasificación de situaciones sinópticas de una región debe tener en cuenta, como punto de partida, las características dinámicas de la circulación atmosféricas en esa región.

Precisamente es en esta perspectiva donde puede situarse la labor del geógrafo que se interesa por los hechos climáticos porque, como recientemente ha señalado el mismo MOUNIER, el dominio donde el geógrafo puede continuar aportando un tributo original al conocimiento de los fenómenos atmosféricos es el de la Climatología Sinóptica "...a condición siempre de tener en cuenta los estudios recientes de la Climatología dinámica que conciernen a la circulación general a escalas de magnitudes superiores..." (MOUNIER 1987 p.44).

En esta vertiente de la Climatología se ha reconocido, ante todo, un finalismo muy particular abocado a la prognosis del tiempo atmosférico, en relación, fundamentalmente, con el conocimiento de las características que adopta la circulación atmosférica a una determinada escala: la escala local, la regional, o alguna otra más amplia. Y este finalismo se observa en los pasos iniciales del S.XIX y, posteriormente, con el segundo avance de la Meteorología trás las aportaciones de la Escuela de Bergen así como después de los trabajos de NAMIAS y de ROSSBY que dieron su tercer gran impulso a la contemplación del medio aéreo. Sólo que, el mejor conocimiento de la estructura atmosférica y de los procesos que en ella tiene lugar, ha posibilitado a la prognosis a largo plazo, en el marco de la Meteorología, unas elaboraciones más perfeccionadas y acordes con la realidad.

En este marco de la Meteorología, el análisis de la Climatología Sinóptica ha mostrado una diversidad de enfoques en función de los caminos elegidos para la clasificación de los mapas de presión o los elementos del tiempo atmosféricos. Siguiendo a BARRY & PERRY (BARRY & PERRY 1973) estos enfoques de la Climatología Sinóptica se pueden agrupar en tres grandes tipos donde, a su vez, se distinguen otros subtipos:

En primer lugar se distinguen **las clasificaciones que parten de una visión estática del mapa de tiempo donde las clasificaciones hacen más énfasis en la localización de rasgos seleccionados del campo de presión.** Así tenemos las clasificaciones centradas en la caracterización de los rasgos de circulación (tales como la identificación de altas o bajas, de vaguadas o dorsales), de superficie o de altura, que se repiten en lugares específicos por causas dinámicas o termodinámicas aunque pueden

variar de intensidad, tamaño o localización. También encontramosn las clasificaciones subjetivas de los modelos de presión basados por lo general en las posiciones de las áreas dominantes de altas y bajas presiones y en la orientación de las isobaras. Por lo general el modelo estático es quizás más apropiado aplicarlo en áreas donde una parte importante del sistema se crea y/o desaparece "in situ". Finalmente tenemos las clasificaciones objetivas basadas en la obtención de tipos de presión, de "modelos" a partir de métodos de correlación, especificación por funciones ortogonales y análisis armónicos.

En segundo lugar se pueden diferenciar las clasificaciones con una visión cinemática del campo de presión donde el mapa sinóptico es clasificado en función del movimiento de los sistemas de presión y de la dirección del flujo de aire que ahora no es contemplado como un hecho implícito de la distribución de presión. Un ejemplo de este tipo de elaboraciones es lo que COURT en 1957 define como "Climatología del campo de presión" que estudia la relación entre determinadas condiciones locales del tiempo con la dirección, distancia a los centros de alta y baja presión y sus intensidades de movimientos; los precedentes de este tipo de trabajos los encontramos en las elaboraciones sobre el movimiento de las depresiones en Europa de VAN BEBBER (1882). Otro ejemplo queda constituido por los estudios clasificatorios regionales en relación con los GROSSWETTER: un representante principal fue F.BAUR quien define la noción de "situación meteorológica general" como "...la distribución de la presión atmosférica y la "acción directriz" (es decir, las líneas que pasan una trás otra cada veinticuatro horas por las regiones de aumento y de disminución de la presión) quedan esencialmente invariables..." (BAUR 1949 p.21); así se lleva a cabo un estudio de situaciones de tiempo en gran escala (el GROSSWETTER) estableciéndose una serie de tipos que se repiten con frecuencia y permiten establecer un "calendario" de los tipos de tiempo (*): en 1947 lleva a cabo una clasificación de los modelos de presión a gran escala donde se incorpora explícitamente el término "dirección" (BARRY & PERRY 1973 p.122). Un tercer ejemplo de este tipo de clasificaciones caracterizados por una visión cinemática del mapa del tiempo queda constituido por los tipos de flujo de aire

---

(*)El concepto de régimen climatológico es clásico. Su consolidación como "calendario" de eventos meteorológicos frecuentes o probables según evoluciona el aire puede llegar a dar lugar en determinados casos a una concepción del año climatológico como "...la continuación de 12 climas mensuales..." (PAPADAKIS, 1980 p.54). La combinación de estos doce climas mensuales constituye un dato diferente y superior que hemos denominado antes "dato climatológico relativo".

regional cuyos antecedentes se remontan a VON BUCHE (1820) y a DOVE (1827) que correlacionaron la presión y otros parámetros con las direcciones de la rosa de los vientos, o a ABERCROMBY (1883): los desarrollos modernos más ejemplares, pueden significarse en la clasificación de tipos en relación a la dirección del flujo llevada a cabo por LAMB (1950 y 1964), este autor fundamentalmente distingue una serie de tipos direccionales (W,NW, N, E y S) y otros no direccionales (Anticiclónico, Hibrido y Ciclónico) también establece las características del tiempo ocasionado por los distintos tipos de flujo y estudia la persistencia de estos. Un cuarto ejemplo de clasifiaciones cinemáticas del mapa del tiempo queda constituido por los modelos de circulación Hemisférica como los trabajos de ROSSBY o de NAMIAS entre otros.

En tercer lugar encontramos las clasifiaciones que se centran en los elementos del tiempo. Aquí se encuadra la "Climatología Compleja" iniciada por FEDEROV en 1927 donde se clasifican los tipos a partir de las combinaciones más comunes de los elementos del tiempo en periodos de veinticuatro horas: este método ha podido también incorporar datos sinópticos para la especificación de casos de tiempo. También aquí se encuadra la "Climatología de las masas de aire" que se inicia con las dos clasifiaciones de masas de aire de BERGERON, una fundamentada en las propiedades más conservadoras de las masas de aire en relación con el área manantial y, la otra, fundamentada en las características de las masas de aire adquiridas en función del área de origen y de su desplazamiento; LINKE y DINIES modificaron después el concepto de BERGERON dando más importancia a las observaciones de superficie. Finalmente podemos encuadrar en este tipo de clasificaciones una multitud de métodos cuyo denominador común es que se llevan a cabo poniendo en relación las características generales del tiempo y los rasgos sinópticos escogidos; aquí se lleva a cabo la abstracción de los factores del tiempo por medio de diversas técnicas matemáticas.

Pero, bajo este finalismo de la Climatología Sinóptica abocado a la prognosis del tiempo a largo plazo, la aproximación climatológica al tiempo atmosférico, llevada a cabo en vinculación con los mapas sinópticos (que es donde los meteorólogos representaban diariamente las características de la circulación regional y los fenómenos meteorológicos asociados para la predicción a corto plazo), pudo imprimir al concepto de clima, en su momento, un carácter de concepto complejo y global que las elaboraciones de la vertiente estadístico-aplicada de la Climatología, anteriormente vista, no ostentaban; asimismo imprimiría una nueva orientación a la Climatología, hasta el punto de hacerla una disciplina genética y explicativa, útil para el conocimiento geográfico del medio físico pués, bajo estas perspectivas, se atendía

primordialmente a las circunstancias atmosféricas que generan el cuadro de fenómenos meteorológicos característico de cada uno de los diversos puntos de la superficie terrestre: el clima.

Esto es muy importante para nosotros. Efectivamente, las construcciones de esta vertiente de la Climatología, aunque estuvieran promovidas en principio por este finalismo que entra de pleno en el campo de la Meteorología: la predicción del tiempo (a largo plazo), son también igualmente utilizables para otros objetivos relacionados con la comprensión del medio físico terrestre tales como la interpretación de los climas locales y regionales y la distribución de sus características.

IV.2.3.2. La Climatología Sinóptica en el marco de la Geografía.

Cuando en el contexto de la Geografía se contemplaron estas elaboraciones sobre el tiempo atmosférico tomándolo en toda su dimensión de realidad compleja y global y teniéndolo en cuenta junto a los procesos atmosféricos donde éste con sus evoluciones tiene lugar, se encontró la conveniencia de imprimir al concepto de clima, tanto en cuanto constituya una aproximación al tiempo atmosférico, un carácter, también, complejo y global decididamente inscrito en la estructura atmosférica. Entonces las concepciones del clima como "conjunto de variaciones atmosféricas" (HUMBOLDT 1845 p.395 T.I), como "la totalidad de los estados verdaderos de la atmósfera, el conjunto de los tipos de tiempo" (HANN 1882 p.1) o como "el ambiente atmosférico constituido por una serie de estados de la atmósfera sobre un lugar en su sucesión habitual" (SORRE 1936 p.14-5) no se limitan a una expresión de buenas intenciones a través de una definición sino a una elaboración práctica. Esta vertiente de la Climatología, fundamentalmente abocada a la prognosis a largo plazo del tiempo, satisfizo también, consiguientemente, las necesiades relativas al conocimiento de un aspecto fundamental del medio físico: el clima.

En este sentido hemos de destacar el contexto de la Geografía porque fue aquí donde esta segunda vertiente de la Climatología se empleó para llevar a cabo una aproximación al clima de los lugares y las regiones de la superficie de la Tierra como aspecto integrante de su medio físico. El desarrollo de estos nuevos métodos de aproximación del clima en Geografía no pretende, en principio, resolver cuestiones relacionadas con la predicción meteorológica sino examinar cómo se plasma la acción de la atmósfera en esos lugares o regiones. En último término la finalidad del estudio es la misma superficie de la Tierra. Más concretamente, estos nuevos métodos se introducen en Geografía en relación con los renovados deseos de analizar los complejos o combinaciones de factores en



su dinámica, lo cual ocurre en el caso particular de la Geografía francesa con P.PEDELABORDE quién afirma que para el geógrafo el clima no se puede definir más que **"...por el estudio sintético y dinámico del tiempo..."** (P.PEDELABORDE 1957 p.42); indica, además, que esto es así porque tanto la Geografía Física como la Humana se proponen describir las combinaciones y nó los elementos constitutivos de las combinaciones como lo hacen otras ciencias. Esta afirmación (PEDELABORDE 1957 p.42) la lleva a cabo aludiendo a quién él mismo reconoce en la dedicatoria de la Tesis como su maestro: A.CHOLLEY, personalidad cuyas ideas de combinación, de complejo y de convergencia son lo que, según PAUL CLAVAL (CLAVAL 1974 p.105), más ha seducido de su obra a los geógrafos.

La importancia que adquiere el aspecto de la "dinámica" y el de la "combinación" en la consideración del clima y del hecho climático se simultanea con un proceso de separación de la Climatología respecto al resto de la Geografía General y, también, de la Geografía Física: el estudio cada vez más científico del medio natural estimuló la división de éste en distintas partes una de las cuales (el contexto atmosférico y sus consecuencias sobre la superficie de la tierra, el clima) quedó bien delimitada: **"...un aspecto que subyace en los recientes progresos de la Geografía Física ha venido a ser su progresiva integración en las ciencias físicas y naturales con ésta relacionadas (...) Una consecuencia de mayor hondura que se desprende del carácter cada vez más científico de la Geografía Física fue su menos acentuada, pero sin embargo significativa, fragmentación. Esta rama contemplada como un todo se ha visto obligada a batirse en retirada ante unos enfoques de mayor especialización y bien fundamentadas..."** (EVERARD, ATKINSON 1984 p.99). La separación de la Climatología vino además impulsada por una actitud de rechazo a la otra vertiente de la Climatología, la Tradicional, fundamentalmente aplicada: como indica el mismo PEDELABORDE, una de las razones esenciales de las insuficiencias de los resultados en materia de Climatología Humana es el incorrecto conocimiento de los climas físicos porque es evidente que antes de estudiar los efectos del clima hay que conocer exactamente lo que es el clima, por tanto los esfuerzos del geógrafo deberían tender, pues, a la edificación de una Climatología Física correcta antes de examinar los efectos hipotéticos del clima en un dominio particular (PEDELABORDE 1957 p.37). Esto no quiere decir, sin embargo, la renuncia a objetivos estrictamente aplicados por parte de estas perspectivas; al contrario, pueden resultar a este respecto más útiles incluso que la Climatología Tradicional (Ver, por ejemplo, PHLIPPONNEAU,M. 1960, especialmente p.110).

Con estas connotaciones, el estudio del clima ha conducido al establecimiento definitivo de la segunda vertiente de la Climatología en la Geografía. En este

contexto se recoge fundamentalmente la definición de clima ("el ambiente atmosférico constituido por la serie de estados de la atmósfera en su sucesión habitual") dada por M.SORRE, quién, hacia los años treinta, lleva a cabo yá una crítica a la concepción del clima recogida por la vertiente Tradicional ("conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera sobre un punto en la superficie terrestre") basándose en el hecho de que no toma en consideración "la sucesión de los fenómenos en el tiempo" y por su "carácter abstracto". La buena acogida que tuvo aquí la definición del clima de SORRE viene fundamentado por diversos geógrafos que apoyan la adopción de los nuevos métodos en Climatología, en tres hechos: en primer lugar considera los "estados de la atmósfera" y no el "estado medio", basándose en los complejos verdaderos realizados en la atmósfera (los tipos de tiempo); en segundo lugar abarca toda la "serie" de esos estados y no olvida las situaciones excepcionales que son muy importantes para el mundo viviente y quedan enmascaradas por la medias; por último, tiene en cuenta la "sucesión" de los tipos, es decir, supone como esenciales en el marco de la atmósfera y en su influencia sobre los seres vivos el factor ritmo y duración (PEDELABORDE 1970 p.20); también son valoradas, junto a las consideracicones de SORRE, la concepción "sensu lato" del clima como "conjunto de variaciones atmosféricas" de HUMBOLDT, o la segunda parte de la definición de J.HANN: igualmente se recuerdan las palabras de A.HETTNER e Die Klimate der Erde hacia 1911: "el clima depende de la circulación general de la atmósfera y no de la radiación solar" (PEDELABORDE 1957 p.58).

Pero el establecimiento de la segunda vertiente de la Climatología en el marco de la Geografía, como hemos anticipado yá, no sólo consistió en la valoración de las intenciones sustentadas por estas definiciones de clima sino, además, en el desarrollo práctico, bajo estas perspectivas, de estudios sobre el clima donde se primaba el análisis regional. Para ello se establecieron las bases de unos métodos de investigación que darían lugar a la expresión **"Climatología Sintética"**, denominación establecida en torno a una preconcepción dinámica y sintética del tiempo atmosférico en clara contraposición a la de **"Climatología Separativa"**: dichos métodos tuvieron como punto de partida, además, el tiempo sinóptico de donde viene la denominación de **"Climatología Sinóptica"** que procede clasificando los tipos de tiempo sinópticos y analizando su frecuencia, permanencia y sucesión: la Climatología Sinóptica se ha diferenciado cada vez más de **la "Climatología Dinámica"** sobre todo en las cuatro últimas décadas pués, ésta última, parte de los movimientos atmosféricos para establecer unos modelos que den una visión de la circulación de amplias zonas o de todo el hemisferio y de los procesos que sufren a lo largo del año.