

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA

Casa abierta al tiempo



Azcapotzalco

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO

**MAESTRÍA EN DISEÑO
LÍNEA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA**

METODOLOGÍA DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO

El Análisis Climático

T E S I S

PARA OPTAR AL GRADO DE MAESTRO EN DISEÑO,
LÍNEA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

PRESENTA

VÍCTOR ARMANDO FUENTES FREIXANET

México. DF. Enero del 2002

UNIVERSIDAD
AUTONOMA
METROPOLITANA

Casa abierta al tiempo



Azcapotzalco

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO

**MAESTRÍA EN DISEÑO
LÍNEA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA**

METODOLOGÍA DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO

El Análisis Climático

TESIS
PARA OPTAR AL GRADO DE MAESTRO EN DISEÑO,
LÍNEA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

PRESENTA

VÍCTOR ARMANDO FUENTES FREIXANET

Aprobada por el jurado:

Director de tesis:

DR. MANUEL RODRÍGUEZ VIQUEIRA

Jurado:

DR. JOSÉ DIEGO MORALES RAMÍREZ

DR. DAVID MORILLÓN GÁLVEZ

DR. JOSÉ ROBERTO GARCÍA CHÁVEZ

M. EN ARQ. ANÍBAL FIGUEROA CASTREJÓN

México. DF. Enero del 2002

Dedico este trabajo a mis hijas:

Erándeni y Ayari

RESUMEN

En este trabajo se presentan las más importantes metodologías de diseño, particularmente las referidas al diseño bioclimático, las cuáles han sido propuestas por varios autores, especialistas en el tema, a través de la historia.

Así mismo se propone una *Metodología de Diseño Bioclimático*, que si bien retoma los elementos importantes de las metodologías clásicas, aporta elementos particulares desarrollados por el autor. El objetivo es ofrecer una metodología clara y accesible para todos aquellos interesados en el proceso de diseño bioclimático sin, que necesariamente posean conocimientos profundos sobre el tema.

Debido a lo extenso de la temática planteada, se particulariza en la metodología para el análisis climatológico. Se exponen los fundamentos teóricos de la climatología con el fin de entender los mecanismos e interrelaciones de todos parámetros climáticos, tanto de los elementos meteorológicos como de los factores determinantes del clima. En esta etapa se presentan los algoritmos para la estimación de los parámetros psicrométricos, para el caso de no contar con ellos, así como ejercicios resueltos y ejercicios propuestos para que el lector pueda verificar el nivel de comprensión de los conceptos.

Se presenta a continuación, la forma de recopilar información, y como ordenarla y procesarla adecuadamente para sacar el mejor provecho de ella; la información ya clasificada se analiza de manera individual y de manera interrelacionada. Se aplican distintas herramientas de análisis y finalmente se concluye con una caracterización bioclimática y se definen estrategias de diseño bioclimático en un nivel general.

Cada uno de los parámetros es explicado y analizado a través de valores o rangos de referencia que permiten evaluar con claridad las condiciones particulares analizadas. Se desarrolló una matriz resumen que facilita la elaboración de conclusiones.

Finalmente se presenta el análisis climático desarrollado a través de varias hojas de cálculo electrónico (programación en Excel) que permiten la evaluación automática del proceso.

JUSTIFICACIÓN

El proyecto de investigación “Metodología de Diseño Bioclimático” trata de dar respuesta a preguntas como: ¿Debe la arquitectura estar integrada a su medio ambiente? ; ¿El medio ambiente condiciona, de alguna manera, a la arquitectura? ; ¿Cómo pueden incorporarse las variables ambientales dentro del proceso de diseño? ; ¿Es posible estructurar el estudio de las variables ambientales metodológicamente? ; ¿Utilizar una metodología bioclimática ayuda a que la arquitectura se integre al medio ambiente? ; ¿Utilizar una metodología bioclimática limita o facilita el trabajo del diseñador? ; ¿Existe ya una metodología de diseño que incorpore los aspectos ambientales?, y en este caso, ¿Qué elementos considera? y ¿Es válida para nuestros días y para las condiciones específicas de nuestro país?.

Todas estas preguntas originaron la inquietud de buscar, desarrollar o estructurar una metodología de diseño que incorpore las variables ambientales relacionadas con el hombre y la arquitectura; desde luego, con el objetivo de facilitar el trabajo del diseñador para que el producto arquitectónico final tenga una respuesta más armónica con el medio ambiente. Así mismo se busca definir las herramientas de análisis, diseño y evaluación necesarias para que la aplicación de la metodología sea clara, sencilla y que pueda ser llevada a cabo por cualquier diseñador, aunque no posea conocimientos profundos de diseño bioclimático.

Si bien es cierto que existen algunas metodologías de diseño bioclimático, éstas están enfocadas principalmente a la etapa de análisis y en algunos casos a los métodos de evaluación, sin embargo no se presentan de manera integral como una herramienta que conlleve de manera lógica y secuencial a las propuestas de diseño arquitectónico. Por otro lado la información se encuentra dispersa de tal forma que los estudiantes o diseñadores interesados en este campo se ven obligados a buscar y consultar una gran cantidad de fuentes y a hacer la integración metodológica por medios propios.

En la mayoría de los casos la información disponible proviene de investigadores de otras latitudes que si bien dan una visión general de los planteamientos bioclimáticos, en ocasiones sus puntos de vista no corresponden a nuestra realidad; principalmente en aquellos de índole ambiental, social, cultural, económica o de desarrollo tecnológico.

Por ello es necesario desarrollar una metodología propia que si bien contemple todas las potencialidades y aportaciones del conocimiento universal, se base en las características, necesidades y recursos locales. Del mismo modo se pretende integrar todas las herramientas de análisis, diseño y evaluación, de tal forma que se cuente con una metodología integral que pueda servir como recurso didáctico para la enseñanza de la arquitectura, tanto a nivel licenciatura como posgrado, así como herramienta de aplicación en el ámbito profesional.

OBJETIVOS

- Definir una metodología de diseño bioclimático en lo general,
- Definir las herramientas de análisis climatológico y aquellas para la determinación de las estrategias básicas de diseño,
- Elaborar un documento de apoyo a la docencia que pueda ser utilizado como guía metodológica por alumnos tanto de nivel licenciatura como de posgrado.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1	Arquitectura, Medio Ambiente y Desarrollo.....	17
1.2	Economía “Verde”.....	21
1.3	Deseos y necesidades.....	22
1.4	Desarrollo sostenible y sustentable.....	23
1.5	Arquitectura Bioclimática.....	25
1.5.1	Beneficios Económicos	26
1.5.2	Salud y Confort.....	27
1.5.3	Eficiencia y Productividad.....	28
1.5.4	Beneficios Ecológicos	29

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA

2.1	Introducción a las Metodologías de Diseño	33
2.2	Metodologías de Diseño	37
2.2.1	Christopher Jones	37
2.2.2	Morris Asimow.....	42
2.2.3	Bruce Archer	44
2.2.4	Hans Guguelot.....	46
2.2.5	Chistopher Alexander.....	48
2.2.6	Enrico Tedeschi.....	49
2.2.7	Miguel Villagrán	54
2.2.8	Enrique Yáñez	55
2.2.9	Oscar Olea y González Lobo.....	57
2.2.10	Modelo general del Proceso de Diseño	59
2.3	Metodologías de Diseño Bioclimático o Ambiental	62
2.3.1	Víctor Olgyay	64
2.3.2	Steven V. Szokolay	67
2.3.3	David Morillón Gálvez.....	68
2.3.4	Mario Schjetnan	70
2.3.5	Ken Yeang.....	73

CAPÍTULO III PROPUESTA METODOLÓGICA

3.1	Metodología de Arquitectura Bioclimática	83
3.1.1	Objetivos.....	83
3.1.2	Análisis del Sitio.....	83
3.1.3	Análisis del Usuario	85
3.1.4	Definición de Estrategias de Diseño.....	86
3.1.5	Definición de Conceptos de Diseño	87

3.1.6	El Anteproyecto	88
3.1.7	La Evaluación del Anteproyecto	89
3.1.8	El Proyecto	90
3.1.9	Evaluación de la Obra	90

CAPÍTULO IV CLIMATOLOGÍA

4.1	Conceptos Básicos de Climatología	95
4.1.1	Las Esferas Geográficas	95
4.1.1.1	La Atmósfera	96
4.1.1.2	La Hidrosfera	102
4.1.1.3	La Litosfera	105
4.1.1.4	La Biosfera	108
4.2	Introducción a la Climatología	112
4.2.1	Meteoros térmicos	115
4.2.2	Hidrometeoros	127
4.2.2.1	Humedad	129
4.2.2.2	Nubosidad	148
4.2.2.3	Precipitación	155
4.2.3	Meteoros Dinámicos	159
4.2.3.1	Presión Atmosférica	159
4.2.3.2	Viento	166
4.3	Factores Determinantes del Clima	180
4.3.1	Factores Naturales	180
4.3.1.1	Astronómicos	180
4.3.1.2	Geográficos	214
4.3.1.3	Hidrológicos	220
4.3.1.4	Cataclismos y Fenómenos especiales	221
4.3.2	Factores Artificiales	222
4.4	Clasificación Climática	223

CAPÍTULO V ANÁLISIS CLIMÁTICO

5.1	Los Datos Climáticos	239
5.2	El Análisis Climático	244
5.2.1	Análisis Paramétrico	246
5.2.2	Análisis Mensual y Anual	252
5.2.2.1	Triángulo de Confort de Evans	252
5.2.2.2	Índice Ombrotérmicos	255
5.2.2.3	Temperatura Efectiva Corregida	258
5.2.2.4	Índice de Calor	259
5.2.2.5	Índice de Viento Frío	261
5.2.2.6	Tablas de Mahoney	262
5.2.2.7	Viento y Precipitación	263
5.2.2.8	Carta Bioclimática	264
5.2.2.9	Diagrama Psicrométrico	265
5.2.3	Caracterización Climática	268
5.2.4	Análisis Horario	269

CAPÍTULO VI

ESTRATEGIAS BÁSICAS DE DISEÑO

6.1	Estrategias Generales.....	277
6.2	Matriz de Clima.....	280

CAPÍTULO VII

EJEMPLO DE APLICACIÓN (ciudad de México)

7.1	Ubicación Geográfica.....	285
7.2	Mesoclima.....	286
7.3	Análisis paramétrico.....	292
7.4	Análisis mensual y anual.....	303
7.5	Análisis horario.....	315
7.6	Caracterización climática mensual.....	328
7.7	Matriz de clima.....	332
7.8	Caracterización climática anual.....	333
7.9	Definición de estrategias básicas de diseño.....	333

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES

8	Conclusiones generales.....	337
---	-----------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA.....	341
--------------------------	------------

ANEXOS

Glosario.....	347
Conversión de Unidades.....	361
Clasificación Climática de Köppen-García.....	365
Tablas de Mahoney.....	373
Diagrama Psicrométrico.....	377
Curriculum Vitae.....	385

ÍNDICE DE TABLAS

1. Composición de aire
2. Variación de la Presión Atmosférica en función de la altitud
3. Distribución de los recursos acuíferos mundiales estimados
4. Capas terrestres
5. Composición de la corteza terrestre
6. Tipos de termómetros y sus rangos de medición
7. Escalas termométricas en relación con las fases del agua
8. Equivalencia de las escalas termométricas
9. Temperaturas reducidas a nivel del mar
10. Propiedades del agua
11. Promedio de la distribución vertical del vapor de agua en latitudes medias
12. Carta de humedades para el psicrómetro
13. Tipos de nubes
14. Precipitación – Tamaño de las gotas de lluvia y velocidad terminal de caída
15. Densidad del aire en función de la altitud y temperatura
16. Variaciones de la Presión, temperatura, densidad y punto de ebullición del agua en función de la altitud.
17. Escala de rangos de intensidad del viento (DGSMN)
18. Escala de viento de Beaufort
19. Velocidades del viento en espacios interiores y sus efectos en los usuarios
20. Constantes de rugosidad del terreno para diferentes capas límite
21. División aproximada del espectro solar en varias bandas de color y regiones de energía
22. Balance global de radiación – Radiación entrante-
23. Albedo de diferentes coberturas de terreno y materiales
24. Balance global de radiación - Radiación saliente-
25. Valores de Intensidad de Radiación Solar extraterrestre y datos relacionados
26. Cálculo del factor de corrección de excentricidad
27. Distancia del Sol a la Tierra
28. Radiación Solar extraterrestre
29. Datos teóricos de la energía directa a ras del suelo
30. Cálculo de la ecuación del tiempo
31. Meridianos de Referencia horaria oficiales en la República Mexicana
32. Esquema general del sistema de clasificación climática de Köppen
33. Análisis de 600 ciudades de la República Mexicana
34. Índice de calor
35. Índice de viento frío
36. Límites de confort para tablas de Mahoney
37. Propiedades termodinámicas del aire húmedo
38. Estrategias básicas de diseño
39. Clasificación climática de la ciudad de México
40. Datos climáticos de Tacubaya, ciudad de México
41. Gráficas climáticas de Tacubaya, ciudad de México
42. Datos de viento de Tacubaya, ciudad de México
43. Datos para el análisis paramétrico.

I

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ARQUITECTURA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

A finales del siglo XX el hombre ha alcanzado grandes logros tecnológicos y científicos, La revolución de la informática y telecomunicaciones nos sorprenden día a día, ahora es posible comunicarnos e intercambiar información al otro extremo del planeta tan solo en segundos. Por otro lado se ha logrado la duplicación de seres vivos a partir del proceso de clonación a demás de muchos avances en todos los campos de la ciencia. Sin embargo y a pesar de tantos adelantos, el hombre no se conoce a sí mismo, no sabe a que ha venido, de donde viene o a donde va. La vida moderna tan acelerada se ha encargado de aislarnos, podemos pasar horas sentados frente a la computadora intercambiando información al otro lado del mundo, pero somos incapaces de relacionarnos con nuestros vecinos; vivimos en lo externo y lo distante y muchas veces no tenemos tiempo de hacer una introspección hacia nuestro interior.

Todo esto ha acarreado una serie de problemas y conflictos absurdos a la sociedad moderna. La decadencia de los valores morales, la corrupción, el egocentrismo, la indiferencia y muchas otras contrariedades han puesto en evidencia la desubicación del hombre, con respecto a sí mismo, y también con respecto al mundo que lo rodea.

Lo cierto es que la forma en que el hombre se relaciona con su medio ambiente depende de la forma en que entiende a ese medio ambiente y como se entiende a sí mismo. Esto se aprecia claramente haciendo una retrospectiva de la relación del hombre con la naturaleza:

En un principio el hombre se sentía y era parte de un gran sistema universal de energía. El hombre primitivo quizá no podía entender los fenómenos naturales, quizá sentía temor ante la presencia del rayo o de un eclipse solar, sin embargo, de una u otra manera empezó a explicarse todos estos fenómenos. Deificó a los elementos naturales y fue conformando su propia visión cosmogónica, dentro de la cual, él era una parte importante. Entendía claramente que la relación Sol-Tierra era la que creaba, sostenía y renovaba la vida. La unión del Dios Sol con la Madre Tierra engendraba a todos los seres vivientes; de esta forma el hombre era hijo de la Tierra, las plantas y los animales, sus hermanos...

Esta misma concepción de planeta vivo y de la integración del hombre con esa vida planetaria se mantiene por muchos siglos y en todas las culturas de la Tierra, entre ellos los filósofos griegos como Pitágoras hacia el año 500 a. de C y posteriormente Platón. *“Platón, que vivió casi un siglo después de Pitágoras, se vio influido por la visión que tenía éste de una Tierra viva. En el Tímeo, Platón proclama que... “El mundo es ese Ser Vivo del cual todos los demás seres vivos son individual y genéricamente porciones”. Del mismo modo que la vida humana emana de la vida de la Tierra, también nuestras almas emanan del alma del mundo, “¿De donde puede haber recibido su alma un cuerpo humano si el cuerpo del mundo no posee alma?” Escribe Platón.”*¹ Este pensamiento es posteriormente heredado por los romanos.

En otras civilizaciones y mucho tiempo después, como en las culturas Americanas, permanecía esta concepción holística de la vida, para ello basta recordar un fragmento de la carta que el Jefe Seattle de la tribu de Suwamish escribió al presidente Franklin de los Estados Unidos, en respuesta a la oferta de compra de las tierras de los Suwamish: *“... ¿Cómo podéis comprar o vender el cielo, el calor de la tierra? Esta idea nos parece extraña. No somos dueños de la frescura del aire ni del centelleo del agua. ¿Cómo podrías comprarlos a nosotros?. Lo decidiremos oportunamente. Habéis de saber que cada partícula de esta tierra es sagrada para mi pueblo. Cada hoja resplandeciente, cada playa arenosa, cada niebla en el oscuro bosque, cada claro y cada insecto con su zumbido son sagrados en la memoria y la experiencia de mi pueblo.*

*La sabia que circula por los árboles porta la memoria del hombre de piel roja. Los muertos del hombre blanco se olvidan de su tierra natal cuando se van a caminar por entre las estrellas. Nuestros muertos jamás olvidan esta hermosa tierra porque ella es la madre del hombre de piel roja. Somos parte de la tierra y ella es parte de nosotros. Las flores son nuestras hermanas; el venado, el caballo, el águila majestuosa son nuestros hermanos. Las crestas rocosas, las savias de las praderas, el calor corporal del potrillo y el hombre, todos pertenecen a la misma familia...”*²

Este concepto de ver a la Tierra como madre, o como el aspecto femenino dador de la vida se presenta en muchísimas culturas además de las indias americanas y las culturas prehispánicas. *“A la tierra se le han dado miles de nombres femeninos. Algunos continentes -Asia, África, Europa-*

1 *Gaia. La Tierra Inteligente*, Círculo de Lectores, 1989.

2 Jefe Seattle de la tribu de Suwamish. *Carta enviada al Presidente Franklin*, de los Estados Unidos.

*recibieron el nombre de manifestaciones de la Diosa. Diversos países llevan el nombre de alguna antepasada o de otra manifestación de la Diosa: Libia, Rusia, Anatolia, Lacio, Holanda, China, Jonia, Akkad, Escocia (Scotia), Irlanda (Eriu, Hera), fueron sólo algunos pocos. Cada nación dio a su propio territorio el nombre de su propia Madre Tierra.”*³ El hombre no sólo conceptualizaba a la Tierra como madre, sino que la percibía y la sentía como tal; incluso la entendía y se comunicaba con ella a través de lenguajes que casi se han olvidado.

Con el surgimiento del Cristianismo, la visión cosmogónica de unidad e integración con la naturaleza fue desvaneciéndose. La enseñanza de la paternidad de Dios y del hombre como su privilegiado hijo, y el concepto nuevo de cielo y Tierra fueron mal entendidos o desvirtuados. El hombre en lugar de ser parte integral de la naturaleza o de la creación, se ubicó en el centro del universo. Egocéntricamente se definió como privilegiado ante todos los demás seres y autorizado a hacer un uso indiscriminado de todos los recursos que “Dios puso a su disposición y servicio”.

Por otra parte la estancia en Tierra era temporal, ya que lo realmente importante no era lo terrenal, sino el cielo, en donde se pasaría la vida eterna. Bajo esta concepción, la estancia en Tierra era asociada con el sufrimiento y la penitencia, e incluso en muchos casos a la Tierra era vinculada con lo demoníaco. Pocos fueron los hombres que tuvieron la suficiente lucidez para no perderse en algunas etapas oscurantistas de la historia. Baste recordar a San Francisco de Asís, y su increíble concepto de unidad con la naturaleza. El hermano lobo, el hermano perro, el hermano árbol... todo en divina hermandad, concepto que nos hace ver que todos somos uno con la naturaleza y uno con Dios... la separación de cielo y tierra, lo divino y lo humano, lo permanente y lo temporal, la dualidad es un tan sólo un frágil velo ilusorio, La *Maya*, definida en la cultura Hindú.

Aunque censuradas y perseguidas, muchas creencias de una “*Tierra viva*” permanecían hasta la Edad Media, los alquimistas y los zahoríes seguían haciendo sus prácticas y buscando respuestas en la naturaleza. Cabe recordar que, paradójicamente muchas catedrales católicas fueron construidas con fuertes principios de geomancia tratando de vincular al edificio con los fenómenos terrestres más sutiles pero de gran significado.

3 Walker, Barbara. *The women's encyclopedia of myths and secrets*, Harper and Row, 1983. citado de *Gaia. La Tierra Inteligente*, Círculo de Lectores, 1989.

Posteriormente, con las teorías de Isaac Newton se dio otro cambio en la estructura intelectual del hombre, la revolución científica conformó una nueva concepción “*mecánica*” del universo. Junto con la revolución industrial, se produjo un cambio drástico en el pensamiento, se dio una explotación irracional de los recursos en aras de una productividad industrial. Esta actitud se acentúa, las fuentes energéticas cambian teniendo como origen la máquina de vapor y posteriormente los combustibles fósiles, cambian los patrones de consumo y estilos de vida, se crea una actitud consumista donde se ve al medio natural como proveedor de “materias primas” para ser transformadas por el hombre en productos de consumo y bienes de capital, con ello la economía cambia. El hombre mismo también cambia, así, hasta llegar a las sociedades capitalistas, consumistas y decadentes de la actualidad. La supuesta abundancia energética y el alto grado de industrialización han propiciado actitudes derrochadoras, prepotentes y sin ninguna consideración hacia la naturaleza.

Los viajes espaciales de los años sesentas y setentas permitieron al hombre ver por primera vez a la Tierra desde fuera; una esfera azul compuesta por una capa atmosférica, agua, tierra y vida, flotando en un vasto universo. Esta visión exterior de la Tierra como un sistema cerrado, ha venido propiciando una nueva visión cosmogónica que entiende al mundo como una unidad físico biológica. Se comprendió que la Tierra es finita y que la vida es un preciado quizá único. De estos conceptos surgió el término de “*La nave espacial Tierra*” con esta perspectiva todos somos sus tripulantes, no hay fronteras, viajamos juntos. Cuando se dice que “*la Tierra es un planeta con vida*” no se refiere solamente a la vida que se da en la superficie, sino de manera integral a que el planeta tiene vida. Existe un metabolismo planetario, intercambios de energía, circulación de fluidos, pulsaciones y actividad terrestre, y vida de millones de seres que no está aislada de todo lo anterior, sino por el contrario, totalmente vinculada, de manera interdependiente.

La Litosfera, la Hidrosfera, la Atmósfera, la Magnetósfera y la Biosfera son esferas que definen a un ente único llamado Tierra; todas ellas deben mantenerse en equilibrio, cualquier alteración en una de ellas, provocará una reacción de tipo compensatorio en las demás, todas ellas son interdependientes, funcionan y actúan de manera coordinada. Esto se comprende fácilmente si recordamos los ciclos gaseosos o sedimentarios y el funcionamiento de los ecosistemas.

En este contexto, es importante entender que cualquier acción del hombre, en pro de su desarrollo, tiene inevitablemente un efecto en el ambiente, éste puede ser favorable o desfavorable y presentarse en distintos niveles y gradaciones. El hombre contemporáneo actúa sin conciencia en los impactos que puede ocasionar al frágil sistema terrestre que lo sustenta, (aunque muchas veces actúa con conocimiento de causa), y mucho menos con la conciencia de que está afectándose a sí mismo, y a un planeta vivo del cual él es una parte...

1.2 ECONOMÍA “VERDE”

En la actualidad, el hombre parece estar inmerso en la inercia de una economía industrial, que a partir de la revolución industrial, ha ido creciendo y conformando a una sociedad consumista que cada vez está mas desarraigada de su naturaleza, de la Tierra que lo gestó y lo sostiene. El consumismo ha llegado a tales grados que ha habido gente que ha pensado en la Tierra misma como algo desechable, al afirmar que la colonización de otros planetas es una alternativa viable y tecnológicamente posible en un futuro mediato, cuando el planeta no pueda sostener a la raza humana, o cuando ésta acabe con él. El hecho es que *“se está pagando un precio terrible por el consumismo industrial a tal escala... se ha convertido en una máquina infernal que roe los cimientos de la sociedad humana y de la vida sobre la Tierra...”*⁴

Es urgente reordenar nuestras estructuras mentales, nuestra concepción y relación con nuestro planeta, nuestra madre Tierra. La forma de organizarnos, interactuar, intercambiar bienes y servicios, debe ser entendida bajo una nueva perspectiva, aquella que considera como prioritario las capacidades y límites de sustentación de la naturaleza, aquella que se integre lo más armónicamente posible a los procesos naturales, que utilice energías limpias y renovables y que establezca nuevas relaciones sociales basadas en el respeto, la honestidad, la rectitud y el amor.

Para lograr esto, deben darse cambios en cuatro dimensiones: ético, social, económico y ecológico. En la actualidad los gobiernos están preocupados únicamente por el desarrollo económico, sin embargo, las sociedades siguen estancadas y deteriorándose cada día más. Esto se debe a que no es posible lograr un desarrollo equilibrado sin vincular los aspectos económicos al desarrollo y justicia social, a la preservación del medio ambiente y al cuidado y fortalecimiento de los valores éticos.

4 Ekins, Paul. *Riqueza sin Límites* EDAF, Madrid, España. 1992.

Ciertamente es evidente que una parte fundamental es la redefinición o recuperación de normas éticas y valores morales básicos, ya que ello establece las reglas de conducta y convivencia social. Nuevas formas de organización social y su reestructuración, acortando las abismales diferencias de grupos, son fundamentales para establecer nuevas relaciones humanas. Son necesarias formas y procesos productivos innovadores basados en tecnologías apropiadas, limpias y eficientes. Una nueva economía que se centre en el bienestar humano y social, que cambie el distorsionado concepto de riqueza imperante, y unida a una nueva concepción ecológica y de relación hombre-naturaleza es básica para lograr un nuevo desarrollo, un desarrollo integral de la sociedad.

1.3 DESEOS Y NECESIDADES

Los patrones de consumo actuales deberán ser replanteados. Las actitudes consumistas frente a la economía industrial actual, han creado muchas necesidades ficticias a tal grado que algunas veces es difícil diferenciarlas entre las necesidades reales. El sistema económico actual nos ha hecho creer que valemos más entre más tenemos. No sólo queremos ser ricos, sino queremos ser más ricos que los demás, lo que implica que en nuestro enriquecimiento se subyace el empobrecimiento de otros. Queremos satisfacer todos nuestros deseos, y cuando esto es conseguido, surgen nuevos deseos con las mismas exigencias, formándose un ciclo de deseos interminable.

Debe establecerse una distinción entre necesidad y deseo. Una necesidad no satisfecha, material o no material perjudica al individuo, en tanto que un deseo insatisfecho no tiene ninguna repercusión. Al satisfacer nuestras necesidades obtenemos el bienestar. La Organización Mundial de la Salud define al término salud como el estado de bienestar físico, psicológico y social del individuo en relación con su entorno, y ciertamente la salud es uno de los primeros requisitos del bienestar, pero entendiendo a la salud en su acepción más amplia. Los conceptos físicos y psicológicos parecen claros, sin embargo los aspectos sociales no son tan explícitos y pueden ser muy amplios. El Dr. Rodríguez Viqueira menciona que los aspectos fundamentales del bienestar son: “*la supervivencia, la seguridad, la legitimidad, la confianza, la aprobación y la libertad*”⁵, mientras que Paul Ekins define a las necesidades humanas fundamentales como: “*Subsistencia, Protección, Afecto,*

5 Rodríguez Viqueira, Manuel. *Temas Selectos I*, apuntes de curso de especialización en Arquitectura Bioclimática. UAM-A, México, D.F. 1995.

*Comprensión, Participación, Creación, Recreo, Identidad y Libertad*⁶. Como puede apreciarse, los conceptos son totalmente coincidentes. De manera puntual las necesidades podrían ser:

Subsistencia:	Salud, alimentación, trabajo, medio ambiente sano.
Seguridad:	Refugio, seguridad social, privacidad, derechos.
Legitimidad:	Identidad, reconocimiento.
Confianza:	Autoestima, permanencia.
Aprobación:	Afecto, respeto.
Comprensión:	Conocimiento, educación.
Recreación:	Esparcimiento, tranquilidad.
Libertad:	Autonomía, decisión, territorialidad.

En este sentido, el tener una buena “*calidad de vida*” no es poseer mucho dinero, ni tener muchos bienes u objetos, sino el tener nuestras necesidades básicas resueltas.

Por otro lado el cumplimiento de los deseos no necesariamente lleva a la satisfacción, al bienestar o a una mejor calidad de vida, incluso muchas veces estos se contraponen. “*En la Economía Verde se pueden llegar a satisfacer tanto necesidades como deseos. En ella no hay lugar para el remolino de deseos insaciables y que aumentan infinitamente. La Economía Verde es la Economía de lo suficiente.*”⁷

1.4 DESARROLLO SOSTENIBLE O SUSTENTABLE

El desarrollo urbano puede entenderse como el “*Proceso programado de adecuación y ordenamiento del medio urbano en sus aspectos físicos, económicos y sociales, y en función de factores dinámicos como el crecimiento y el cambio. El desarrollo implica un proceso integral que persigue el equilibrio de los aspectos físicos, económicos y sociales, siendo diferente al aspecto parcial de crecimiento físico, que en ocasiones es interpretado como desarrollo. El desarrollo urbano debe ser concebido en integración o como parte integral del desarrollo regional o*

6 Ekins, Op. Cit.

7 Ekins, Op Cit.

*territorial, ya que difícilmente se dan en forma independiente.”*⁸ El desarrollo significa progreso cualitativo, por lo que, para que éste se dé, debe existir un cierto periodo en el cual puedan darse los procesos de adecuación, ordenamiento, crecimiento o cambio. El desarrollo “*sostenible*” significa que el proceso será mantenido por un periodo prolongado, es decir que pretende que el equilibrio de todas las variables implícitas en el desarrollo sea sostenido o permanente; sin embargo, todas las variables son dinámicas, por lo que su ordenamiento deberá estar basado en ajustes continuos tendientes a mantener dicho equilibrio.

El término “*sustentable*” se refiere mas bien a que el desarrollo debe estar sustentado o soportado por las condiciones físicas, económicas y sociales. De hecho el desarrollo se presenta siempre en un ámbito, espacial - temporal. El ambiente natural donde este desarrollo se da, presenta límites evidentes para el soporte urbano, regional o territorial, principalmente en términos de crecimiento, pero también en otras variables cualitativas, por lo que el desarrollo deberá considerar de manera importante los límites naturales. El desarrollo también deberá estar sustentado por una economía firme. La economía “*verde*” se basa en conceptos de generación y distribución de la riqueza mucho más amplios y totalmente distintos a los tradicionales, en donde los intercambios se dan de manera equilibrada, sin embargo estos cambios conceptuales deben partir de una nueva visión del hombre con respecto a sí mismo y a su entorno, y por lo tanto a una reorganización social.

El desequilibrio, ya sea urbano o regional, se presenta ante situaciones de asimetría y desigualdad en el desarrollo, o bien en el conjunto de aspectos físicos, sociales y económicos, entre dos o más ámbitos urbanos, o entre distintas regiones de un territorio. Este desequilibrio puede ser originado por diferencias en las condicionantes o recursos naturales, por un desarrollo histórico geográfico diferencial de las actividades productivas, por la inadecuada política de inversiones públicas, o muchas otras causas; y generalmente tienden a acentuarse con el tiempo, condicionando diferencias significativas en los niveles de bienestar social, así como en flujos migratorios interregionales. Por ello es de suma importancia lograr el equilibrio en el desarrollo físico, social y económico y ambiental, basado en políticas acertadas, claras y congruentes con una nueva concepción del hombre, la sociedad y sus formas de interactuar.

8 Landa, Horacio. *Terminología de Urbanismo*. CIDIV. Indeco, México. 1976.

La planeación y el diseño urbanos, así como la gestión y promoción para un desarrollo sostenible no pueden actuar fuera de este contexto ni seguir dándose de manera tradicional. Si se pretende que la sociedad cambie, mejore, que desaparezcan los problemas de desigualdad, corrupción, injusticia, inseguridad, contaminación etc. debe empezarse por el cambio del individuo, debe cambiar su forma de pensar y de actuar, la forma de relacionarse con sus semejantes y con la naturaleza que lo sostiene y da vida. El nuevo diseñador urbano, y arquitecto, debe estar consciente y aceptar su responsabilidad social en este cambio. Las decisiones que él tome pueden afectar o beneficiar a muchas personas; los beneficios se darán sólo si éste asume un papel de servicio desinteresado en favor de la sociedad.

1.5. ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

Es evidente de que el ambiente está cada día más deteriorado y que los problemas que esto conlleva están incidiendo más directamente en la salud del hombre y en las actividades que desarrolla, es por esto la preocupación ante los problemas ambientales está aumentando y generalizándose más y más. El hombre está tomando conciencia, un tanto obligadamente, de la importancia de los ecosistemas y de la fragilidad de su equilibrio; sólo entonces, frente a la perspectiva de deshabitabilidad de nuestro planeta... La crisis ecológica (económica, social y política) que se sufre actualmente en muchos países del mundo, y principalmente en los latinoamericanos, obedece, en la mayoría de los casos, a los esquemas de desarrollo planteados, con una visión puramente “macro-económica” donde no se ponderan adecuadamente los factores ambientales y de calidad de vida como los prioritarios a perseguir.

La arquitectura no puede desligarse de la problemática ambiental. Tomando como marco de referencia al desarrollo sustentable o al ecodesarrollo, la arquitectura debe ser considerada como la disciplina encargada del ecodiseño de los espacios. “Más del 90% de nuestra existencia transcurre dentro de los espacios, cualquiera que estos sean. Por ello resulta de vital importancia para las personas contar con condiciones ambientales apropiadas que les permitan desarrollar todas sus actividades saludable y confortablemente... En 1983 la Organización Mundial de la Salud emitió un informe donde se señala que el 73% de las enfermedades de vías respiratorias se debe a diseños inadecuados de las edificaciones. Ya no se puede seguir ignorando la estrecha vinculación del hombre con la naturaleza a través de la arquitectura. Es muy importante que el hábitat sea diseñado en función de su continuo intercambio energético, para que pueda brindar a los ocupantes las condiciones de comodidad que permitan satisfacer sus necesidades psicofisiológicas. El Arquitecto

actual tiene la responsabilidad de proporcionar mediante su trabajo, edificaciones que, además de hacer un uso eficiente de la energía, se integren armónicamente al entorno natural para propiciar espacios dignos, confortables y saludables para el cuerpo, la mente y el espíritu de los usuarios.⁹

La Arquitectura Bioclimática ofrece muchos beneficios, entre ellos podemos citar los siguientes:

1.5.1 Beneficios Económicos

Comúnmente, bajo una concepción (de desarrollo) tradicional, la arquitectura, y en general el diseño, es visualizada como una mercancía que implica un costo-beneficio que debe recuperar rápidamente su inversión.

Bajo esta visión tan estrecha, sólo se contempla el costo inicial de la edificación y nunca los costos de operación ni mantenimiento durante su “vida útil” y mucho menos los costos secundarios por los impactos generados. Recordemos que en muchos lugares de la República Mexicana con condiciones climáticas severas, la gente tiene que pagar miles de pesos por consumo eléctrico debido a la utilización de sistemas mecánicos de climatización (aún con subsidios y tarifas especiales en las temporadas críticas) , incluso en ciudades con climas benignos como es el caso de la Ciudad de México, existen muchos edificios de oficinas o comerciales, que tienen que pagar grandes cantidades de dinero por concepto de consumo eléctrico, tanto por climatización como por iluminación artificial. Hacer Arquitectura Bioclimática no implica un costo adicional al costo de construcción, ya que para ello sólo se utilizan conceptos de diseño adecuados, y por lo contrario se logra reducir enormemente los costos de operación y mantenimiento a través de un uso eficiente de la energía y los recursos.

Existen lugares con condiciones climáticas tales que la arquitectura por sí misma no es capaz de lograr un 100% de climatización natural, sin embargo ayudará a reducir enormemente los requerimientos y las cargas de equipos convencionales de climatización. Así mismo, la utilización de la iluminación natural muchas veces no satisface el total de los requerimientos lumínicos, pero comúnmente se diseñan sistemas mixtos donde los sistemas de iluminación artificial compensan automáticamente las deficiencias o variaciones lumínicas naturales.

⁹ García-Chávez, Roberto y Fuentes F. Víctor. *Arquitectura y Medio Ambiente en la Ciudad de México*.

Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco. México, D.F. 2000

1.5.2 Salud y Confort

En muchas ocasiones se olvidan los impactos que la arquitectura puede provocar sobre la salud de los ocupantes. El cuerpo humano –relativamente frágil- es afectado por todos los factores y variables ambientales que le rodean, tanto físicas como psicológicas). La Organización Mundial de la Salud define a la salud como aquel estado de bienestar físico, psicológico y social del individuo en relación con su entorno. Cuando el cuerpo ofrece el menor esfuerzo para mantener sus condiciones de equilibrio y mantener en óptimo funcionamiento todos sus órganos, se dice que está en condiciones de confort. De hecho una definición más amplia sería que el Confort es el estado físico y mental en el cual el individuo expresa bienestar o satisfacción con el medio ambiente circundante. Como se puede apreciar, aparentemente no existe diferencia significativa entre las definiciones de salud y confort. Sin embargo conceptualmente la primera se refiere a un estado temporal más amplio (aunque no permanente) y abarca aspectos que no son considerados por el segundo, como el aspecto de bienestar social.

El confort se refiere de manera más puntual a un estado de percepción ambiental momentáneo, el cual ciertamente está determinado por el estado de salud del individuo, pero además por otros factores endógenos y exógenos. Si bien el confort se obtiene mediante la integración de todos los factores ambientales, por fines prácticos suele dividirse en varios tipos, de acuerdo con el canal de percepción sensorial de que se trate de esta manera se cuenta con distintos tipos de confort. La Arquitectura Bioclimática pretende trabajar sobre cada uno de ellos para lograr espacios armónicos, saludables y confortables:

Confort Térmico

El confort térmico se refiere a la percepción del medio circundante que se da principalmente a través de la piel, aunque, en el intercambio térmico entre el cuerpo y el ambiente, los pulmones intervienen de manera muy importante. A través del diseño de los espacios arquitectónicos y sistemas pasivos de climatización es posible conseguir condiciones térmicas confortables, lo cual repercute en la salud y confort de los usuarios. Recordemos que condiciones de temperatura, bien sea de calor o frío tiene n efectos directos en el sistema respiratorio y circulatorio (cardiovascular), entre otros.

Confort Higrométrico

La humedad desempeña un papel importante en los mecanismos de intercambio térmico del cuerpo, tanto en la sudoración como en la evaporación e intercambio térmico a través de la respiración.

Es cierto que el rango de confort de humedad es amplio, sin embargo cuando se está fuera de él, se impacta al sistema respiratorio y al cutáneo.

Confort Lumínico

Para desarrollar cualquier tipo de trabajo es necesario contar con niveles de iluminación adecuados, de lo contrario se pueden ocasionar lesiones transitorias o permanentes de la vista.

Confort Acústico

El ruido es un elemento sumamente nocivo que provoca alteraciones en el sistema circulatorio y puede provocar pérdida temporal o permanente de la audición, perturbación del sueño, estrés, neurosis, e interferencia en la comunicación.

Confort olfativo

El confort olfativo está relacionado directamente con la calidad del aire; existen muchos elementos contaminantes, no solamente por su olor, sino por los efectos nocivos sobre el organismo

Confort psicológico

El confort psicológico se refiere a la percepción global que tiene el cerebro de toda la información que recibe del medio ambiente, incluyendo la percepción espacial, visual, información auditiva, etc. Ésta es analizada y procesada en función de la información residente (conocimiento, experiencias, personalidad, etc), de tal forma que el individuo responderá de una u otra manera, expresando satisfacción o desagrado ante los estímulos ambientales. Si bien es cierto que el confort psicológico es bastante subjetivo, existen ciertos parámetros que pueden ser válidos para la mayoría de las personas y que de alguna manera pueden ser manejadas por el diseño arquitectónico.

1.5.3 Eficiencia y Productividad

El hecho de contar con buena salud y encontrarse en condiciones de bienestar y confort, tiene repercusiones directas con la eficiencia en el trabajo y en general en un óptimo desarrollo de todas las actividades; esto a su vez repercute en una mayor productividad y evidentemente en beneficios económicos y sociales.

1.5.4 Beneficios Ecológicos

Además de considerar todos aquellos factores que de alguna manera conllevan beneficios personales, no podemos olvidar los beneficios de orden ecológico que se pueden obtener a través del diseño adecuado de los espacios, tanto abiertos como cerrados. Utilizar sistemas naturales de energía, recursos naturales renovables y en general el diseñar bajo una concepción ecológica es necesaria para impactar lo menos posible a los ecosistemas y por el contrario tratar de beneficiarlos a través de una integración armónica de la obra edificada con su medio.

La Arquitectura Bioclimática ofrece enormes beneficios y ventajas sobre una construcción tradicional. La intención de este trabajo es coadyuvar a la integración de todos estos conceptos en la práctica profesional a través de una estructura metodología y herramientas de análisis simples y en muchos casos automatizadas. De forma tal que el arquitecto común (con pocos conocimientos de arquitectura Bioclimática) pueda tomar decisiones de diseño más acertadas y en todo caso verificar y evaluar el proyecto con los especialistas. Lo importante es entonces, ampliar y difundir el conocimiento de una forma accesible y práctica.

II

MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA

2. MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA

2.1 INTRODUCCIÓN A LAS METODOLOGÍAS DE DISEÑO

La palabra método significa modo razonado de obrar. En diseño, los métodos han surgido como una forma lógica de proceder para encontrar la solución de un problema. Los procedimientos son las formas de actuar, o las acciones consecutivas que deben hacerse para llegar a un objetivo. El diseñador o arquitecto crea espacios que cumplen con una finalidad tanto funcional como expresiva tendientes a satisfacer necesidades específicas. Para configurar espacios funcionales que satisfagan necesidades, el diseñador comúnmente se basa en los métodos, sin embargo, el problema más común al que se enfrenta el diseñador es que durante el proceso de diseño, se presentan etapas analíticas, lógicas y racionales, pero hay otras etapas creativas, intuitivas o emotivas que no pueden darse a través del razonamiento lógico.

Al respecto, los filósofos griegos como Platón y Aristóteles ya se planteaban preguntas acerca del acto de pensar y decidir, pero quizá fue Descartes quien estudió acerca de los procedimientos de estos actos. Desde el punto de vista del diseño, como uno de los primeros antecedentes, podemos mencionar a Marco Lucio Vitruvio, quien escribió su obra “*Los diez libros de arquitectura*” alrededor de los años 738 y 741 de Roma (25 a C.) Esta obra es un tratado no sólo de arquitectura sino también de ingeniería en varias ramas.

En su primer “libro” Vitruvio habla de la arquitectura en general y de las cualidades que debe tener un arquitecto. Define a la arquitectura como una ciencia que requiere de muchos conocimientos y estudios, pero sobre todo se requieren dos aspectos fundamentales, la práctica y la teoría. También menciona: “*Porque como en todas las artes, muy especialmente en la arquitectura, hay dos términos: lo significado y lo que significa. La cosa significada es aquella de la que uno se propone tratar; y la significante, es la demostración desarrollada mediante principios científicos...*”¹⁰ Aunque aparentemente, este último término implica la utilización metodológica, Vitruvio lo utiliza para resaltar la necesidad de poseer y aplicar conocimiento en muy variados campos.

¹⁰ Vitruvio, Marco Lucio. *Los Diez Libros de la Arquitectura*. Obra publicada por Editorial Iberia, S.A. Barcelona, España. 1955 p. 5

Posteriormente describe varias disciplinas que el arquitecto debe dominar, entre ellas: la gramática, el dibujo, la geometría, la óptica, la aritmética, la historia, la música, la medicina, la jurisprudencia, la filosofía y la astrología; y explica el porqué de cada una. Particularmente, con relación a la medicina escribe: “*La medicina es necesaria al arquitecto para conocer cuáles son los aspectos del cielo, que los griegos llaman <climas>, las condiciones del aire en cada lugar; que parajes son nocivos, cuáles saludables, y qué propiedades tienen sus aguas, porque sin el conocimiento de estas circunstancias no es posible construir edificios sanos*¹¹”. En este punto Vitruvio relaciona de manera importante a la Arquitectura con el medio ambiente y con la salud de sus ocupantes.

Refiriéndose al diseño, o “ideas” (expresadas en planta, alzado y perspectiva), explica: “*Estas tres partes nacen de la meditación y de la invención. La meditación de la obra propuesta es un esfuerzo intelectual, reflexivo, atento y vigilante, que aspira al placer de conseguir un feliz éxito. La invención es el efecto de este esfuerzo mental que da solución a problemas oscuros y la razón de la cosa nueva encontrada...*¹²”. Por un lado explica que deben aplicarse principios científicos, por otro define al diseño como un acto creativo, intuitivo e interno.

En este mismo libro se habla de manera importante del emplazamiento y la relación de la arquitectura con el medio ambiente, principalmente referido al soleamiento, la ventilación y la disponibilidad de agua pura. Temas muy importantes que se retomaran más adelante.

En todas las épocas, y hasta nuestros días, varios filósofos se han dedicado a investigar acerca del proceso del pensamiento creativo. Sin embargo debido al enfoque del tema que nos ocupa, nos enfocaremos en las principales propuestas metodológicas de diseño que se dieron el siglo pasado.

A partir de la Revolución Industrial, surge la necesidad de optimizar los procesos productivos. Pero es hasta inicios del siglo XX, con la Bauhaus, cuando las metodologías de diseño inician de manera formal, principalmente referidas al diseño industrial. A mediados de siglo y particularmente en las décadas de los 60s y 70s es cuando las metodologías de diseño toman una gran importancia.

¹¹ Vitruvio, Marco Lucio. Op cit. p.9

¹² Vitruvio, Marco Lucio. Op. cit. p. 13

Empezaremos por enunciar algunos conceptos acerca de cómo abordar un problema y tomar decisiones. “Graham Wallas (1926) describe cuatro etapas de “control” en un acto completo de pensamiento:

1. Preparación: la acumulación consciente de conocimientos, dividiendo el campo de estudio mediante reglas lógicas y adoptando una “actitud problema” definida.
2. Incubación: se evita pensar en el problema, ya sea mediante la concentración en otras cosas ya sea relajándose completamente del pensamiento consciente mediante la realización de alguna actividad que no lo requiera.
3. Iluminación: súbito y afortunado salto que puede ir precedido por una cadena de asociaciones y una “conciencia marginal”, una “intuición” de que el éxito está al alcance de la mano.
4. Verificación: la idea es verificada y reducida a su forma exacta.

...Por otro lado Peter Drucker (1955) distingue una secuencia de decisiones en cinco fases...

1. Definición del problema
2. Análisis del problema
3. Desarrollo de soluciones alternativas
4. Decisión acerca de cuál es la mejor solución
5. Paso de la decisión a la acción efectiva.

...Churchman y sus colegas (1957) describen una secuencia de decisiones para la investigación operativa...

1. Formular el problema
2. Construir un modelo matemático
3. Deducir del modelo una solución
4. Contrastar el modelo y la solución obtenida de él
5. Establecer controles sobre la solución
6. Aplicar la solución: ejecución...¹³”

¹³ Broadbent, Geoffrey. *Diseño Arquitectónico*. Gustavo Gili. Barcelona España. 2ª Ed. 1982 pp. 180-182

A partir de estos conceptos se puede entender claramente las distintas formas de tomar decisiones (de diseño) Por consecuencia los distintos tipos de métodos pueden agruparse básicamente en tres corrientes que oscilan entre lo racional y lo creativo:

- “1. *Una tendencia busca la manera de utilizar computadoras en el proceso de diseño, En esta corriente se distinguieron los trabajos de Asimow, Alexander, Archer y Simon. Mientras que en México se destaca particularmente el trabajo de Olea y González Lobo.*
2. *La corriente de la creatividad, que tiene sus raíces en técnicas como la “lluvia de ideas”, “la sinécdoque”¹⁴ y el “pensamiento lateral”, en la que destacan los trabajos de Adams y De Bono.*
3. *Por último está la que podemos considerar la corriente central, que además ha sido la de mayor impacto en nuestro país. Se destacan autores como Jones, Broadbent, Bafnall, Maldonado, Gugelot y, en México, un grupo de profesionales de la UAM. Azcapotzalco, entre otros.”¹⁵*

Luis Rodríguez Morales, en su libro para una teoría del Diseño, hace una excelente síntesis de los distintos métodos, que si bien están enfocados al diseño industrial, pueden ser análogos a las distintas corrientes metodológicas en arquitectura.

Para hacer un recorrido por las distintas metodologías, quizá debamos empezar por citar a Christopher Jones, ya que él explica con claridad los conceptos de “caja negra” y “caja transparente”, refiriéndose a las tendencias, racional e intuitiva.

¹⁴ Figura de retórica que consiste en tomar una parte por el todo, o el todo por una parte.

¹⁵ Rodríguez M., Luis. *Para una Teoría del Diseño*. UAM- A. Tilde. México 1989. p. 32

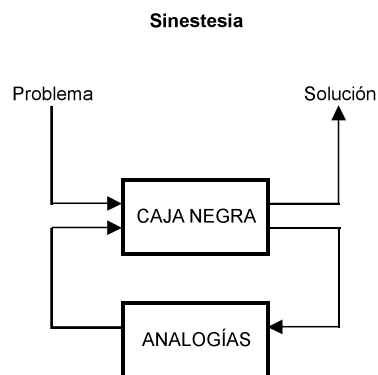
2.2 METODOLOGÍAS DE DISEÑO

2.2.1 Christopher Jones (1962): -La caja negra y la caja transparente-¹⁶

En el caso de **la caja negra** se considera que el diseñador es capaz de producir resultados en los que confía y que a menudo tienen éxito, más no es capaz de explicar como llegó a tal resultado. “El enfoque de la caja negra es para los que creen que el diseño es un misterio; algo que tiene lugar en el cerebro y que es susceptible de manipulación pero no de análisis...”¹⁷

Las características de este modo de diseñar son:

1. La producción de un diseñador está dominada por las entradas (inputs) más recientes procedentes del problema y también por otras entradas procedentes de problemas y experiencias anteriores.
2. Su producción puede ser acelerada y convertirse en más aleatoria, mediante el acuerdo de relajar durante cierto periodo las inhibiciones sociales.
3. Su capacidad de producir resultados relevantes con respecto al problema, depende de que disponga de tiempo para asimilar y manipular, en su propio interior, imágenes que representan la estructura del problema en su conjunto. A lo largo de una extensa y aparente infructuosa búsqueda de la solución, puede repentinamente percibir una nueva manera de estructurar el problema de forma que los conflictos se resuelvan. Esta agradable sensación a veces se llama “visión repentina”.



¹⁶ Jones, J. Christopher. *Métodos de Diseño*. Gustavo Gili, Barcelona, España, 1976

¹⁷ Jones, J. Christopher. *The state-of-the-art in design methods*. Into: *Design Methods in Architecture*. Broadbent, Geoffrey and Ward, Anthony. Lund Humphries Publishers Limited. London, England, 1969. p 193.

5. El control inteligente de las formas en las que la estructura problema se introduce en la caja negra del hombre puede incrementar las posibilidades de resultados relevantes al problema de diseño.

Por lo que se refiere a los métodos de **caja transparente**, se puede decir que la imagen del diseñador racional o sistemático es muy similar a la de una computadora (humana); la cuál sólo opera con la información que se le ofrece y que sigue una secuencia planificada de ciclos y pasos analíticos, sintéticos y de valoración hasta llegar a identificar la mejor de todas las soluciones posibles.

Sus características son las siguientes:

1. Objetivos, variables y criterios de evaluación son claramente fijados de antemano.
2. El análisis del problema debe ser completado antes de iniciar la búsqueda de soluciones.
3. La evaluación es fundamentalmente verbal y lógica (en lugar de experimental)
4. Las estrategias se establecen de antemano.
5. Por lo general las estrategias son lineales e incluyen ciclos de retroalimentación.

Según Jones, la debilidad fundamental de ambos enfoques es que el diseñador genera un universo de alternativas desconocidas que resulta demasiado extenso para explorar con el lento proceso del pensamiento consciente.

El registro de la información se desarrolla en tres etapas:

1. Análisis: en el que se hace una lista de todos los requerimientos de diseño y se le reduce a un conjunto de especificaciones de funcionamiento interconectadas lógicamente.
2. Síntesis: en la que se encuentran soluciones para las diversas especificaciones de funcionamiento, y se les combina para construir el diseño completo.
3. Evaluación: en la que se confrontan diseños alternativos con las especificaciones de funcionamiento – especialmente las que se refieren a operación, manufactura y ventas.

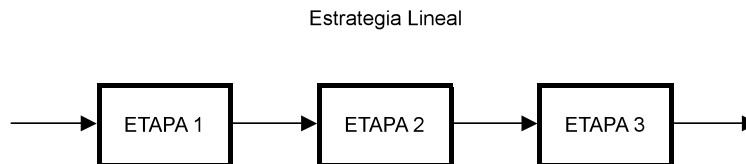
El análisis empieza con una reunión en la que cada persona manifiesta los pensamientos que se le ocurren en su primer contacto con el problema. Estos pensamientos se anotan sin ningún tipo de

crítica para construir una lista asistemática de factores. [listados, diagramas y matrices de interacciones]... En cuanto a la síntesis Jones describe varias técnicas, como por ejemplo la “lluvia de ideas” y la sinestesia, a través de las cuales se busca una o más soluciones parciales... Finalmente, Jones considera la evaluación, las diversas manera de detectar deficiencias en el diseño antes de haberse comprometido demasiado...¹⁸,

En su libro Métodos de Diseño, Jones también describe distintas estrategias para abordar un problema y darle solución. Estas son importantes ya que en general todos los métodos o procedimientos están incluidos en éstos esquemas conceptuales. De ahí la conveniencia en citarlos:

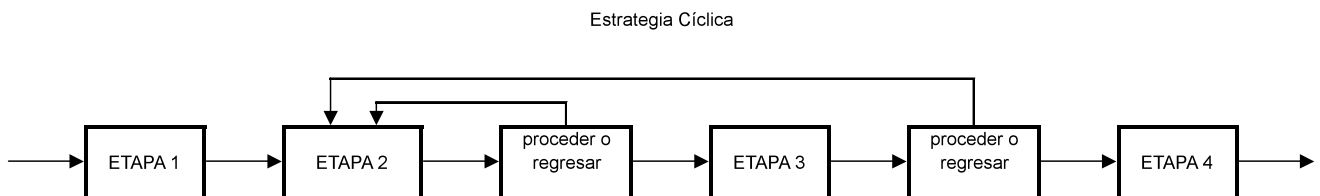
Estrategia lineal:

Consiste en etapas secuenciales, en donde cada acción depende de la salida o resultados de la acción precedente, y al mismo tiempo es independiente de las salidas de las acciones subsecuentes.



Estrategia cíclica:

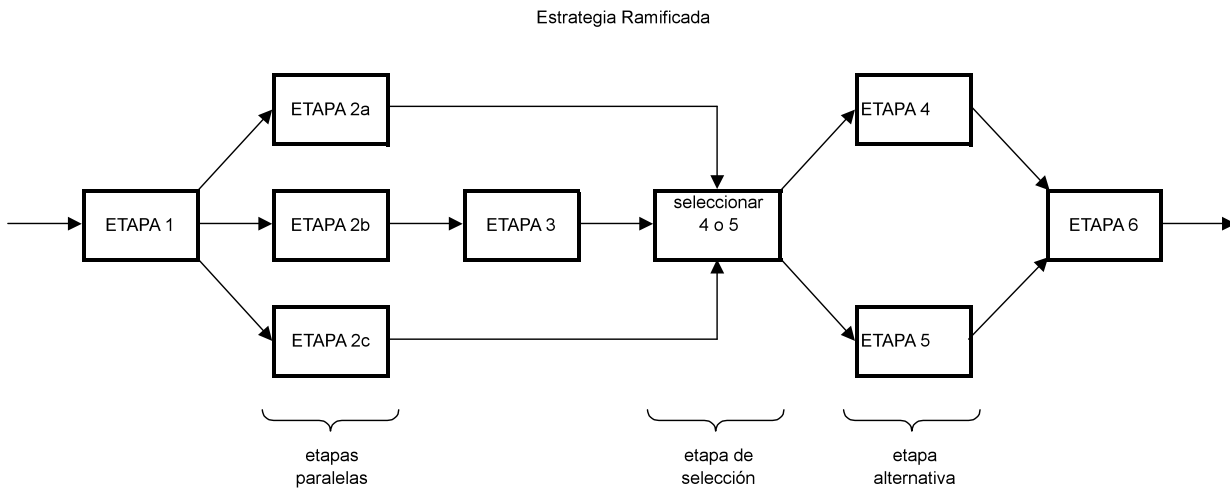
En esta estrategia alguna de las acciones tiene que ser repetida después de haberse terminado alguna etapa posterior. Es lo que comúnmente se conoce como retroalimentación, y ésta se puede presentar en uno o más circuitos. En este punto Jones advierte del peligro de caer en un círculo vicioso.



¹⁸ Broadbent, Geoffrey. Op cit. p. 251

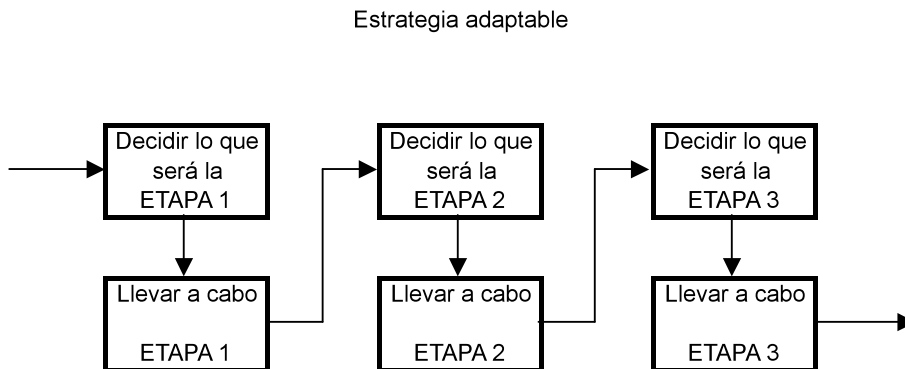
Estrategia en ramificación:

La estrategia en ramificación se presenta cuando las acciones son independientes entre sí, de tal forma que se pueden presentar etapas o acciones paralelas o alternativas.



Estrategia adaptable:

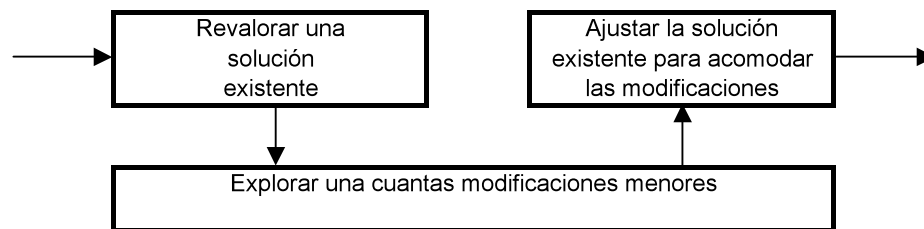
Es aquella en la que al comienzo sólo se decide la primera acción, mientras que las subsecuentes están determinadas por el resultado de la primera o de la inmediata anterior. Jones hace la observación de que esta es la mejor manera de actuar, ya que las acciones están siempre guiadas por la mejor información factible (o resultados parciales), sin embargo el mayor inconveniente es la incapacidad de controlar el costo y el tiempo del diseño.



Estrategia de mejoramiento:

Es una versión de la estrategia adaptable que se basa en diseños existentes que se van mejorando paulatinamente.

Estrategia de mejoramiento



Como puede observarse Jones pertenece a la corriente moderada en donde tanto lo racional como lo creativo es importante, tal como se muestra en el siguiente párrafo: “El método es, fundamentalmente, una manera de resolver el conflicto que se da entre análisis lógico y pensamiento creador. La dificultad estriba en que la imaginación no trabaja adecuadamente si no se la deja orientarse alternativamente a todos los aspectos del problema, en cualquier orden y en cualquier momento, mientras que el análisis lógico se colapsa ante el abandono de una secuencia sistematizada etapa por etapa. Por consiguiente, para conseguir algún progreso, un método de diseño debe permitir que estos dos tipos de pensamiento se desarrollen a la vez. Los métodos existentes hasta ahora dependen ampliamente de mantener separadas, gracias únicamente a un esfuerzo de voluntad, la lógica y la imaginación, el problema, la solución y sus fracasos pueden atribuirse en gran medida a la dificultad de mantener separados estos dos procesos en la mente de una sola persona...¹⁹”

¹⁹ Broadbent, Geoffrey. *Diseño Arquitectónico*. Op cit. p. 249

Corriente racionalista.

A principios de los años sesentas los diseñadores contaban con nuevas herramientas, como la ingeniería de sistemas, la ergonomía, la investigación operativa, la cibernética, nuevas matemáticas y las ciencias de la computación, que rápidamente fueron incorporadas a sus planteamientos metodológicos. Uno de los argumento que maneja esta corriente, y que ciertamente hay que tomar en cuenta, es que la complejidad de los problemas actuales demandan de nuevos métodos que más rápidos y que den mayor certidumbre ya que tales problemas no pueden dejarse al criterio de un solo diseñador por experimentado que éste sea.

2.2.2 Morris Asimow:²⁰

Asimov (1962) describe la actividad de diseño casi enteramente en términos de procesos de información. Esta actividad consiste, como dice, en “recoger, elaborar y organizar creativamente la información relevante para la situación problematizada; describe la derivación de decisiones que se optimizan, se comunican y se comprueban o evalúan de un modo u otro; tiene un carácter iterativo, ya que frecuentemente, mientras se está actuando, aparece una información nueva, o se alcanzan unos nuevos puntos de vista, que requieren la repetición de las operaciones anteriores”.

En su método, Asimow considera que existen dos grandes fases que se interrelacionan entre sí: morfología del diseño:

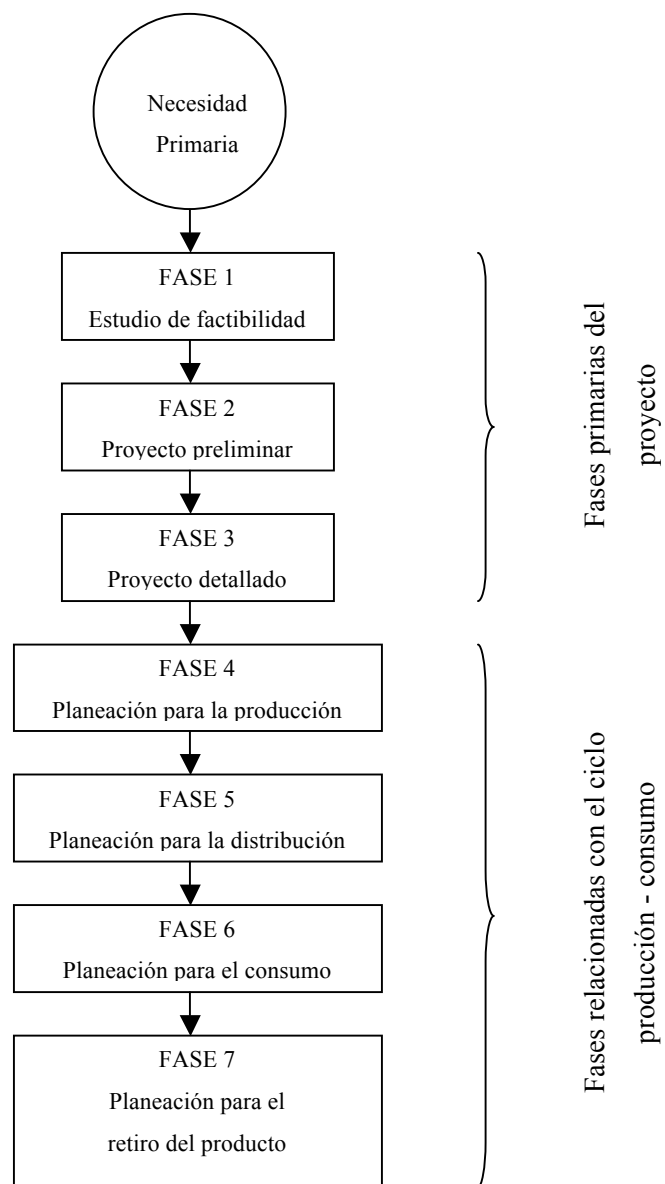
1. Estudio de factibilidad
2. Diseño preliminar
3. Diseño detallado
4. Preparación para el diseño
 - 4.1 preparación para el diseño
 - 4.2 diseño general de subsistemas
 - 4.3 diseño general de componentes
 - 4.4 diseño detallado de las partes
 - 4.5 preparación de los bocetos de montaje
 - 4.6 construcción experimental

²⁰ Broadbent, Goeffrey, Op. Cit. p. 247

- 4.7 programa de comprobación del producto
- 4.8 análisis y predicción
- 4.9 rediseño
- 5. Proceso de producción
- 6. Planeación de la distribución
- 7. Planeación del consumo
- 8. Planeación del retiro del producto

Proceso de diseño:

- 1. Análisis,
- 2. Síntesis,
- 3. Evaluación
- 4. Decisión,
- 5. Optimización,
- 6. Revisión,
- 7. Implementación.



2.2.3 Método de Bruce Archer:²¹

Este método propuesto por Archer contiene fundamentalmente las etapas analítica, creativa y de ejecución. A su vez estas etapas se subdividen en las siguientes fases:

1. Definición del problema y preparación del programa detallado.
2. Obtener datos relevantes, preparar especificaciones y con base en éstas, y retroalimentación de la fase 1.
3. Análisis y síntesis de los datos para preparar propuestas de diseño.
4. Desarrollo de prototipos.
5. Preparar y ejecutar estudios y experimentos que validen el diseño.
6. Preparar documentos para la producción.

Cada una de estas etapas a su vez se subdividen en una serie de pasos detallados a seguir en el proceso de diseño. La lista completa comprende 229 actividades distintas, lo que lo convierte en uno de los métodos más detallados y exhaustivos publicados hasta la fecha. Este método también incluye una serie de diagramas, matrices y tablas.

Archer define su investigación como ciencia del diseño, ya que dice que el diseño es una ciencia porque es una búsqueda sistemática cuya meta es el conocimiento...

²¹ Rodríguez M, Luis, Op. Cit. p 35

2.2.4 El método de Hans Guguelot:²²

Esta metodología de diseño (1963) fue desarrollada básicamente para diseño industrial, y se basa en las siguientes etapas:

1. *Fase de información:* Se investiga todo lo que sea posible acerca de la empresa que hace el encargo. Su programa de producción, el énfasis o el desplazamiento de énfasis hacia una línea dada de productos. Se deben revisar también los productos similares de otras empresas y, en general, todo lo que sea posible acerca del tema en el que se está trabajando. [Recopilación de información]
2. *Fase de investigación:* Se debe averiguar todo lo que se pueda acerca de los usuarios; con demasiada frecuencia las decisiones acerca de las necesidades de los usuarios se adoptan por un organismo que, aunque sólo sea por razón de su estatus, es incapaz de saber lo que el usuario realmente desea. Se trata de encontrar el contexto en el que se va a usar el producto, al mismo tiempo se estudia la función y métodos posibles de producción – especialmente procesos y desarrollos tecnológicos nuevos. [Obtención de requerimientos]
3. *Fase de diseño.* En ella el diseñador puede ser creativo; se buscan nuevas posibilidades formales. Si no surgen nuevas ideas formales, hay que regresar a las variaciones sobre formas existentes. Durante esta fase hay que mantenerse conscientes de las necesidades de todas las otras personas que se encuentran implicadas en la elaboración del producto. [Exploración en la búsqueda de nuevas posibilidades, apoyada en el conocimiento científico]
4. *Fase de decisión.* Se procuran obtener decisiones favorables por parte de los representantes de ventas y producción. Si el diseño es radicalmente nuevo se pueden encontrar dificultades serias en la tentativa “vendérselo”. Se puede persuadir a un jefe de ventas con espíritu de aventura que adopte un riesgo calculado, pero a los departamentos de producción sólo se les puede convencer con argumentos estrictamente técnicos. [Estudios de costo beneficio]

²² Broadbent, Goeffrey. Op. cit. p 245

5. *Fase de cálculo.* Se trata ahora de ajustar el diseño a los estándares específicos de producción, y si esto se hace intensivamente se puede incluso llegar a estropear completamente el diseño. En la mayor parte de los casos los departamentos de producción no son conscientes de que alteraciones, en su opinión ligeras, pueden tener grandes consecuencias formales. Debe haber una continua comunicación en ambos sentidos. [Se ajusta el diseño a normas y estándares y se hacen cálculos]

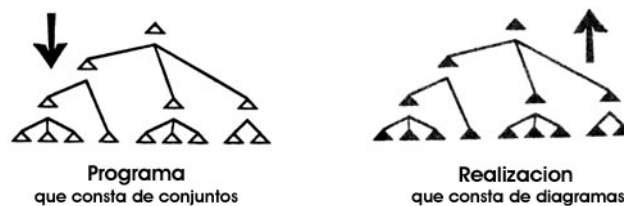
6. *Confeción de modelos.* Se construye un prototipo, un modelo operativo que resulta siempre muy útil para planear la producción y muestra los límites de los riesgos técnicos implícitos. [Pruebas y evaluación]

2.2.5 Método de Christopher Alexander:²³

Según Alexander, el problema de los métodos tradicionales es que los diseñadores, al descomponer los factores constitutivos de un problema, recurren a términos verbales que corresponden más a una tradición cultural que a una estructura real del problema. Por si esto no fuera suficiente, los métodos tradicionales llevan al diseñador a obtener una lista de requerimientos, lingüísticos y no formales, pero no marcan un camino claro para llegar a la síntesis formal. Para este autor, la clave se encuentra en el análisis riguroso del problema y en adaptar a este la estructura del programa de diseño y no al revés. Para lograr esto se recurre a la teoría de grafos y conjuntos. a grandes rasgos, podemos dividir el método de Alexander en 6 pasos:

1. Definición del problema mediante una lista que explica sus límites y sus requerimientos.
2. Mediante una lista de exigencias, se estudia el comportamiento de todos los sistemas en el conjunto.
3. Sobre cada par de exigencias se da un juicio con el objeto de determinar si las soluciones a una de las exigencias están determinadas con las de otra.
4. Se analiza y descompone la matriz resultante del paso anterior y se establece una jerarquía de subsistemas.
5. Por medio de diagramas se encuentra una solución a las exigencias de cada subsistema.
6. Los diagramas se van desarrollando hasta lograr un proyecto, que es la síntesis formal de las exigencias.

Alexander considera que para los pasos 3 y 4 resulta particularmente útil el uso de una computadora.²⁴



²³ Rodríguez M, Luis, Op. Cit.

²⁴ Cf. Serge Chermayeff y Christopher Alexander. *Comunidad y privacidad*, Ediciones Nueva Visión, Argentina 1963
 Cf. Christopher Alexander. *Ensayo sobre la síntesis de la forma*. Ediciones Infinito, Buenos Aires, Argentina, 1966
 Cf. Christopher Alexander. *La estructura del medio ambiente*. Editorial futura, 1976.

2.2.6 Metodología de Tedeschi:

El método expuesto por Tedeschi, se basa en definición de las interacciones e interrelaciones de las condicionantes específicas de la localización (sitio y usuario), Tipologías y Técnicas-economía, además de las consideraciones estéticas. Cabe mencionar que el método sugerido por Tedeschi en su libro de Teoría de la Arquitectura, es humanista; él lo denomina “método histórico” y se refiere a él de la siguiente manera: “...resulta conveniente investigar teóricamente la arquitectura en los tres campos de la Naturaleza, la Sociedad y el Arte. La investigación se conducirá siguiendo el enfoque metodológico... o sea el método histórico, de manera que en cada campo tendrá cabida el examen de lo que se ha realizado, y de lo que mantiene vigencia. Pero este método permitirá también enfocar los aspectos cambiantes de la arquitectura, dado que el cambio supone un desarrollo con respecto a una situación existente y toma sentido cuando se lo refiere a tal situación...”

Al hablar de método histórico debemos precisar qué es lo que se entiende como tal. Existe cierta tendencia a pensar en la historia como un fastidioso acervo de nombres, fechas y acontecimientos, que hace olvidar una verdad fundamental: que la historia, en su concepción más cierta y elevada, es en realidad la ciencia que estudia al hombre. No lo estudia en sus generalizaciones, a veces abstractas, como pueden hacerlo las ciencias biológicas, sino en esa actividad que lo distingue y lo caracteriza, la continua construcción de lo que llamamos cultura y que constituye el patrimonio más valioso de la humanidad. En el estudio histórico el hombre se presenta en toda su compleja naturaleza, como ser viviente con sus necesidades físicas, como ser que piensa en las investigaciones filosóficas y del universo, como ser dotado de sentimientos y de caracteres morales y psicológicos, como creador en sus actividades artísticas, como ser político y social, como técnico, en fin, en todas las facetas que componen la realidad histórica...

...lo que interesa, al plantear un proyecto, al preparar un programa, es justamente verlo a través de una amplia comprensión de sus aspectos humanos... Se evitará de tal modo la ilusión de encontrar la solución de valor general, que no existe en arquitectura, y el error del “tipo” de edificio, tipo que debería ser igualmente bueno en un lugar o en otro, en un clima o en otro, en cualquier forma de sociedad o de comunidad humana. Utopía peligrosa que quiere encerrar la realidad en moldes que

no le corresponden, cuando la solución está, por el contrario, en aprovechar las posibilidades que nacen de situaciones reales, naturales, humanas.²⁵

Esquema metodológico:

1. Conocimiento concreto de la Localización.
 - a. Paisaje natural. (terreno, vegetación y clima)
 - b. Paisaje cultural. (población, forma y valores)
 - c. Uso físico. (dimensionamiento, funcionamiento, organización)
 - d. Condicionantes físicas. (Factores climáticos, Iluminación, ventilación y acústica)
 - e. Uso psicológico. (Protección, tranquilidad, privacidad, iluminación y vistas)
 - f. Uso social. (Trabajo, cultura, relaciones)

2. Conocimiento concreto de la Tipología.
 - a. Organización
 - b. Tipología (general, particular)
 - c. definición de necesidades (físicas, psicológicas y sociales).

3. Conocimiento concreto de Técnica-economía.
 - a. Técnica. (infraestructura, medio ambiente, equipamiento, sistemas constructivos)
 - b. Economía (financiamiento, costos, rentabilidad, recursos e inversión)

4. Conocimientos estéticos
 - a. La plástica (líneas, planos, volúmenes, materiales, luz y color)
 - b. La escala (el paisaje, el edificio, el hombre)
 - c. El espacio (interno, externo)

²⁵ Tedeschi, Enrico. *Teoría de la Arquitectura*. De. Nueva Visión, Buenos Aires, Argentina, 1977. p 21

2.2.7 Método de Villagrán:²⁶

José Villagrán es sin duda uno de los teóricos de la arquitectura más importantes de México. Sus conceptos teóricos y metodológicos han influido enormemente en el quehacer arquitectónico de varias generaciones. de manera muy condensada estos conceptos son:

Lo general y lo individual en el Programa Arquitectónico:

1. Ubicación:
 - a. Ambiente natural (condicionantes físicas y geográficas)
 - b. Cultura (Costumbres, tradiciones, idiosincrasia...)
 - c. Ambiente Artificial o edificado
2. Destino:
 - a. Habitabilidad espacial
 - b. El hombre integrado (determinantes Fisiológicas, Biológicas, Psicológicas, del espíritu)
3. Economía
 - a. Costo predeterminado y costo resultante.
 - b. Rendimiento
 - c. Provecho Social y provecho individual
 - d. Especificaciones
 - e. Resultantes.

Valores que al concurrir en una obra en forma positiva, integran lo arquitectónico:

1. Útiles

... Resulta así que en nuestro propio territorio de lo arquitectónico lo útil es un valor instrumental que tienen los espacios arquitectónicamente construidos que persiguen, según la clasificación que de ellos hicimos, lo habitable unos, y lo resistente y edificatorio otros...

²⁶ Villagrán G. José. *Integración del Valor Arquitectónico*. UAM-A. México, 1992.

2. Factológicos

- a. Concordancia entre la naturaleza real y original del material de edificación y su apariencia óptico-háptica.
- b. Concordancia entre forma y función mecánico constructiva real que físicamente representa la edificación.
- c. Concordancia entre forma y función utilitario económico a que se destina.
- d. Concordancia entre forma y exterior y disposiciones interiores.
- e. Concordancia entre forma y tiempo histórico.

3. Estéticos

La formas del valor estético en lo arquitectónico. La composición. Principales formas de lo estético: Partido, unidad, claridad, contraste, simetría.

4. Sociales

El valor social en lo arquitectónico se coloca como el de jerarquía superior.

2.2.8 Metodología de Yañez:²⁷

El Arquitecto Enrique Yañez define el proceso de Realización de la obra arquitectónica: “Este proceso comprende desde el surgimiento de la idea de una obra hasta el juicio que suscite al ponerse en servicio después de ser realizada. Cuatro etapas bien diferenciadas pero ligadas en continuidad pueden distinguirse en el proceso: Programación, Diseño, Realización y Evaluación; como sigue:

1. Programación.

La programación es la etapa en la que se determina la necesidad de la obra, se definen los requerimientos que debe cumplir, la ubicación territorial que tendrá así como las condiciones a que deberá sujetarse el diseño y la construcción.

- a. Formulación del tema
- b. Elaboración del programa
- c. Definición de condiciones

²⁷ Yañez, Enrique. *Arquitectura, teoría, diseño y contexto*. Talleres de Litografía México. 1984.

2. Diseño

El diseño que debe cumplir con los requerimientos del Programa es labor espacial.

- a. Estudio del programa
- b. Diagramas de relaciones
- c. Determinación de áreas
- d. Jerarquización de espacios y relaciones
- e. Estudio de espacios indivisos
- f. Agrupación de los espacios indivisos en partes o subsistemas
- g. Definición del partido general
- h. Toma de decisiones
- i. Anteproyecto
- j. Toma de decisiones
- k. El Proyecto

3. Realización.

La Construcción es en sí un proceso en el que se realizan no sólo las acciones propiamente constructivas sino administrativas.

- a. Programación
- b. Realización

4. Evaluación.

La evaluación de las obras, una vez realizadas, consiste en el juicio que de ellas puede hacerse en función de los objetivos planteados en el Programa respectivo y de las condiciones que expresamente se establecen en él, pero este juicio tiene que extenderse a otros factores como son la buena calidad de la construcción, el costo justificado y la calidad estética.

- a. Confrontación con el programa
- b. Costos de inversión y operación
- c. Recomendaciones para efectos de retroalimentación de programas.

2.2.9 Método Diana, de Oscar Olea y González Lobo:²⁸

Si bien el método se presenta dentro de la corriente del diseño auxiliado por computadoras, su aplicación no está limitado al necesario uso de este instrumento. Sus características generales son: Los factores básicos en el proceso proyectual son la demanda, la respuesta que da el diseñador y el objeto satisfactor. La demanda se conforma por los siguientes factores:

- a. Ubicación. Definición del sitio específico donde surge la necesidad.
- b. Destino. Finalidad que se persigue con la satisfacción de la demanda.
- c. Economía. Evaluación de los recursos necesarios disponibles para satisfacer la demanda.

Para que el diseñador sea capaz de dar una respuesta adecuada a los términos surgidos de la demanda (totalidad problemática) con su propuesta:

- a. Funcional. Soluciones donde se manifiestan las relaciones entre objeto y su uso.
- b. Ambiental. Engloba la problemática que plantea la relación entre el objeto y su contexto físico.
- c. Estructural. Tiene que ver con la rigidez o durabilidad del objeto en función de su uso.
- d. Constructivo. Área de problemas que surgen de los medios de producción y su incidencia sobre las soluciones a los demás niveles.
- e. Expresivo. Tiene que ver con los niveles de solución estéticos.

Los pasos que se siguen para el modelo Diana son los siguientes:

1. Configuración de la demanda. Definición de los tres factores: ubicación, destino y economía.
2. Organización de la información. Se persigue el objetivo de determinar cuáles unidades de información son variables y cuáles constantes.
3. Definición del vector analítico del problema.

²⁸ Rodríguez M, Luis, Op. Cit.

4. Definición del enfoque. Elegir la estrategia con base en la definición del grado de dependencia, interdependencia o independencia, según sea el caso de cada una de las variables.
5. Definir las áreas semánticas de los términos de la demanda que tengan relación con cada variable.
6. Organizar la investigación de acuerdo con las áreas semánticas definidas
7. Asignar a cada alternativa de cada variable una probabilidad de elección, jerarquización de preferencias de alternativas.
8. Asignar a cada alternativa su correspondiente factor acumulativo
9. Establecer restricciones lógicas.
10. Calificar las áreas pertinentes de la demanda para cada alternativa.
11. Fijar el límite inferior de la probabilidad de elección.
12. Pasar los datos a la hoja de codificación.
13. Iniciar el proceso con la computadora.

2.2.10 Modelo General del Proceso de Diseño:²⁹

Este modelo consta de fases sucesivas que son las siguientes:

1. FASE DEL CASO.

A partir de conjuntos de fenómenos y con base en un estudio interdisciplinario, surgen propuestas para cada disciplina; para el diseño esta propuesta es el caso y su formulación integral constituye la esencia de la primera fase del proceso de diseño. Esta fase determina en cierto grado la totalidad del proceso pues especifica tanto el marco teórico como las técnicas a utilizar.

- a. Definición del tema a diseñar.
- b. Definición del ámbito cultural de donde emana la temática. (tradicional, de Transición, Industrial)
- c. Conocimiento del usuario individual y colectivo.
- d. Conocimiento del ámbito físico (contexto, natural, artificial)
- e. Definición de los factores moderadores involucrados: (sociales, económicos, culturales, políticos)
- f. Determinar la escala interdisciplinaria. (alcances)

2. FASE DEL PROBLEMA

En esta fase se pretende reunir los datos relevantes que incluyen el criterio de diseño para su interpretación y solución. En esta fase se persigue “la estructuración del cuerpo de requerimientos específicos”, para lo cual se agrupan en subconjuntos los datos relevantes, integrando con ellos un sistema con una secuencia jerárquica.

- a. Definición y jerarquización de los requerimientos del usuario, individual o colectivo
- b. Definición del sitio
- c. Marco legal. (leyes, normas y reglamentación)
- d. Conceptos y valores de diseño (Utilitario, económico, cultural, lógico, ecológico, social, formal o estético) (Humanos, Estéticos, Tecnológicos)

²⁹ Gutiérrez, Martín. *Cuarta Área del conocimiento - Modelo General del Proceso de Diseño*. UAM, 1988.

- e. Criterios de diseño: social, político, cultural, económico.
- f. Dimensiones espaciales
- g. Relaciones y organización.
- h. Expresión lógica.
- i. Definición de materiales y sus características.
- j. Definición de procedimientos y sistemas constructivos apropiados
- k. Adecuación al ambiente natural y artificial.
- l. Expresión formal.
- m. Integración interdisciplinar (ingenierías)
- n. Planteamiento económico, financiero.

3. FASE DE HIPÓTESIS (alternativas)

En esta fase se desarrollan alternativas para analizar y resolver los sistemas semiótico, funcional, constructivo, de planeación, etc. utilizando los métodos y técnicas tanto de las ciencias como de las artes.

- a. Síntesis conceptual.
- b. Valor social.
- c. Valor ecológico, ambiental. (humano y natural)
- d. Valor cultural.
- e. Valor económico.
- f. Valor utilitario.
- g. Valor estético.
- h. Valor lógico.
- i. Gestación de alternativas
- j. Evaluación y definición de la alternativa mas viable.

4. FASE DE PROYECTO.

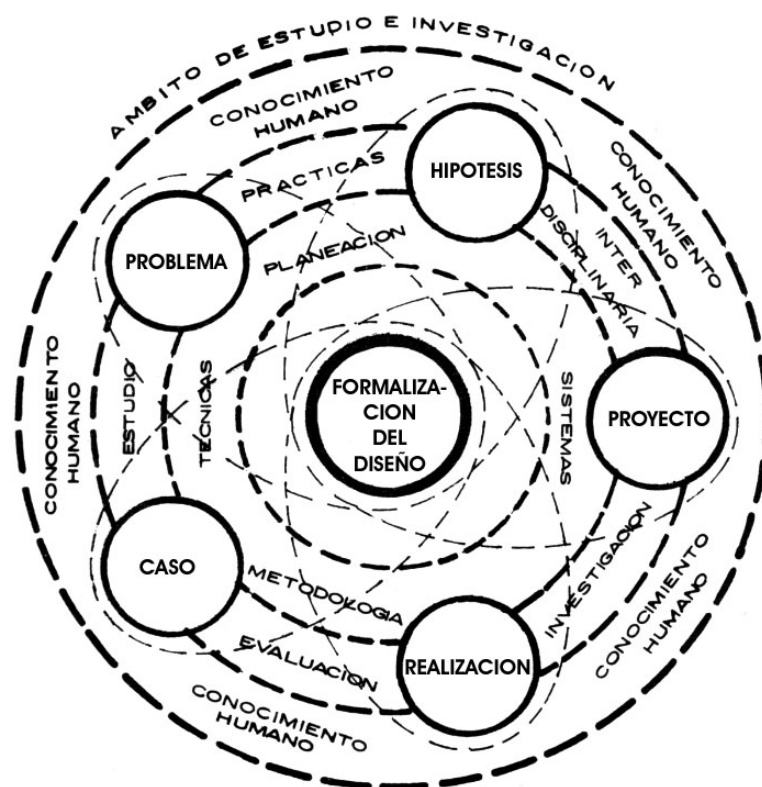
Dentro de esta fase, la interacción con los métodos y las técnicas de las disciplinas que van a implementar en la realidad la hipótesis de diseño es total. Se desarrolla con base a planos, maquetas y simuladores para poder contrastar las propuestas de la fase de hipótesis con el caso.

- a. Desarrollo del Anteproyecto - Proyecto

5. FASE DE REALIZACIÓN

En esta última fase el diseñador se ocupa de la supervisión y dirección de la realización material de la propuesta.

- a. Planeación y organización de la ejecución.
- b. Aspectos administrativos y legales de la ejecución
- c. Definir programas de inversión
- d. Programación de la ejecución
- e. Definición de controles y supervisión
- f. evaluación final.



2.3 METODOLOGÍAS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO

A mediados de los años sesentas (1963) los hermanos Olgyay proponen el término “**Diseño Bioclimático**” tratando de enfatizar los vínculos y múltiples interrelaciones entre la vida y el clima (factores naturales) en relación con el diseño, también exponen un método a través del cual el diseño arquitectónico se desarrolla respondiendo a los requerimientos climáticos específicos. Un método similar es propuesto poco después por Baruch Givoni³⁰ (1969), basado en la carta Psicrométrica. Más adelante surgieron otras definiciones como diseño ambiental, eco-diseño, diseño natural, bio-diseño, etc. en realidad todos tratan de establecer la importancia del diseño basado en la relación Hombre-Naturaleza. Como se citó al principio de este documento, es necesario un cambio conceptual de esta relación ya que bajo esta nueva perspectiva el diseño contemplará, de manera natural, todos los factores que interactúan integralmente.

No se tiene que empezar desde cero, tenemos que aprovechar las experiencias de nuestros antepasados, entender su concepción cosmogónica humana y la forma en como ellos se relacionaban con el medio a través del diseño de sus espacios y edificaciones. Cabe recordar que la adaptación del hombre a su medio ambiente ha sido sorprendente, la población mundial está distribuida en lugares extremadamente diferente en cuanto a clima. El hombre en su adaptación ha tenido que dar soluciones arquitectónicas muy diversas; el iglú en el Ártico, la vivienda tradicional islámica, la arquitectura japonesa, el palafito, la casa maya, etc... son verdaderos ejemplos de una excelente adecuación natural. De hecho la arquitectura está determinada por el clima, como lo menciona Tedeschi³¹ “*Debe reconocerse que el clima ha influido profundamente en la arquitectura, no sólo planteando al arquitecto y urbanista requerimientos diferentes de acuerdo con los diferentes paisajes - y por lo tanto imponiendo soluciones funcionales, técnicas y formales diversas - sino también de un modo más directo, contribuyendo a la formación de tipologías tanto generales como particulares, tanto funcionales como formales...*”

Los factores ambientales han sido considerados por la arquitectura desde hace muchísimo tiempo,

³⁰ Cf. Givoni, Baruch. *Man Climate and Architecture*. Applied Science Publishers Ltd. London, 1969.

Cf. Milne, Murray and Givoni, Baruch. *Architectural Design Based on Climate*. capítulo publicado en Watson, Donald. *Energy Conservation Through Building Design*. McGraw Hill, New York, USA 1979.

³¹ Tedeschi, Op. Cit.

alrededor del año 740 d.C. Vitruvio³² escribió: *“Antes de echar los cimientos de las murallas de una ciudad habrá de escogerse un lugar de aires sanísimos. Este lugar habrá de ser alto, de temperatura templada, no expuesto a las brumas heladas ni al calor ni al frío... No serán sanos los lugares cuyas murallas se sentaren junto al mar, mirando a Mediodía o a Occidente, porque en estos sitios el Sol de verano tiene mucha fuerza desde que nace, y al mediodía resulta abrasador; y en los expuestos a Occidente, el aire es muy cálido a la puesta del Sol. Y estos cambios repentinos de calor y frío alteran notablemente la salud de los seres que a ellos están expuestos...”*

Con esto no queremos decir que toda la arquitectura indígena, vernácula o antigua sea buena y responda favorablemente al medio circundante, ni que debamos regresar a construir como ellos; sino simplemente, que debemos retomar las experiencias positivas de las generaciones pasadas y hacer una arquitectura moderna racional o con sentido común, pensada para el hombre que la ha de habitar y en su medio ambiente. La arquitectura puede contribuir de manera significativa al bienestar, eficiencia, salud, economía y ecología. Si se quiere solucionar los problemas de inadaptación de los espacios al medio ambiente natural, se debe hacer desde sus orígenes, partiendo de los objetivos fundamentales de la arquitectura:

1. Crear espacios habitables que cumplan con una finalidad funcional y expresiva que sean física y psicológicamente saludables y confortables para propiciar el óptimo desarrollo del hombre y de sus actividades.
2. Hacer un uso eficiente de la energía y los recursos; tendiendo hacia la autosuficiencia de las edificaciones.
3. Preservar y mejorar el medio ambiente, integrando al hombre a un ecosistema equilibrado a través de los espacios.

Es decir, diseñar espacios arquitectónicos ecológicamente concebidos. De esta forma ellos responderán integral y armónicamente a la acción de los factores ambientales naturales del lugar. La envolvente del edificio debe ser diseñada como un agente dinámico que interactúe favorablemente entre el exterior e interior y viceversa, es decir, que actúe como un filtro selectivo biotérmico, lumínico y acústico, capaz de modificar favorablemente la acción de los elementos naturales, admitiéndolos, rechazándolos y/o transformándolos cuando así se requiera.

³² Vitruvio, Marco Lucio. *Los diez libros de la arquitectura*, Ed. Iberia, Barcelona España 1955 pp 17-18.

2.3.1 Metodología de Olgyay:³³

En su libro clásico de diseño climático, Víctor Olgyay define un método de análisis y diseño, de manera resumida éste es el siguiente:

El procedimiento deseable será trabajar con y no contra las fuerzas naturales y hacer uso de sus potencialidades para crear mejores condiciones de vida... El procedimiento para construir una casa climáticamente balanceada se divide en cuatro pasos, de los cuales el último es la expresión arquitectónica. La expresión arquitectónica debe estar precedida por el estudio de las variables climáticas, biológicas y tecnológicas.

1. Análisis climático:

El primer paso hacia el ajuste ambiental es el análisis de los elementos climáticos de una localidad dada. Deben analizarse datos anuales de temperatura, humedad, radiación y efectos del viento. si fuera necesario, los datos deberán ser adaptados al nivel habitable, y deben considerarse los efectos de las condiciones microclimáticas.

2. Evaluación Biológica:

La evaluación biológica debe basarse en las sensaciones humanas. La graficación de los datos climáticos en la carta bioclimática a intervalos regulares mostrará un diagnóstico de la región, y se determinarán tablas de datos horarios.

3. Soluciones tecnológicas:

Después de determinar los requerimientos, se deben buscar las soluciones tecnológicas. para ello deberán realizarse los siguientes cálculos:

- Selección del sitio
- Orientación
- Determinación de sombras
- Forma de la casa
- Movimientos de aire
- Balance de temperatura interior.

³³ Olgyay, Víctor. *Design With Climate*. Princeton University Press.U.S.A. 1973. pp. 10-13

4. Expresión arquitectónica

A través de los resultados obtenidos en los tres pasos anteriores, se deberá desarrollar los conceptos arquitectónicos y equilibrarlos de acuerdo a la importancia de los diferentes elementos.

III

PROPUESTA METODOLÓGICA

3.1 PROPUESTA METODOLÓGICA

3.1 METODOLOGÍA DE ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA:

Este trabajo es una propuesta para la sistematización del proceso de diseño bioclimático, particularmente en su etapa analítica. Se basa en las propuestas de los investigadores clásicos como: Olgay, Givoni y Szokolay, pero también en nuevas aportaciones como las de Yeang. Sin embargo se trata de una metodología adaptada a los requerimientos específicos de docencia e investigación que el autor lleva a cabo en el Laboratorio de Diseño Bioclimático de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.

El análisis se divide en varios bloques o etapas, algunas se desarrollan de manera simultánea y otras de manera secuencial.

3.1.1 OBJETIVOS.

En la medida en que sea comprendido el problema a resolver, en esa medida serán las soluciones dadas, por lo tanto el primer paso es la definición clara y concisa del problema planteado así como los objetivos, alcances y limitaciones. Evidentemente todo ello depende de las características particulares de cada proyecto.

3.1.2 ANÁLISIS DEL SITIO Y DEL ENTORNO.

Esta segunda etapa tiene por objetivo conocer, analizar y evaluar las variables ambientales, naturales y artificiales, así como socioculturales para lograr una adecuada integración de la obra arquitectónica, así como aprovechar los beneficios o aptitudes que provee el entorno y controlar o matizar los elementos desfavorables, evitando al máximo posible la alteración o impacto que se pudieran provocar. Estos factores están interrelacionados entre sí así como también con la siguiente etapa de análisis del usuario.

Los análisis particulares comprenden:

3.1.2.1 El medio natural

El Sitio:

Se deberán realizar estudios del sitio, considerando en general las condicionantes geomorfológicas, geológicas, edáficas, hidrológicas, de vegetación, fauna, etc. no de manera aislada sino tratando de determinar los distintos ecosistemas, ya sean naturales o urbanos. Como resultado se contará con una síntesis cartográfica detallada.

Climatología:

El clima es un factor fundamental para el desarrollo de la vida en general y condicionante de la arquitectura. Por ello es indispensable conocer, analizar y evaluar los elementos y factores determinantes del clima, en el nivel regional, local y de sitio. Como resultado se contará con un análisis climático detallado, incluyendo: análisis paramétrico, mensual, anual, definición climática, tablas de Mahoney, datos climáticos horarios y matriz resumen de climatización.

Análisis de Geometría Solar:

Como uno de los factores del clima la geometría solar se estudia de manera particular ya que será un elemento sustantivo del proyecto bioclimático. Como resultado se tendrán las distintas gráficas y datos solares detallados relacionados con los datos climáticos horarios.

Análisis Ecológico:

Se elaborará un diagnóstico ambiental detallado así como se definirán el funcionamiento de los ecosistemas naturales y humano. Como resultado se contará con un diagnóstico ecológico y ambiental detallado.

3.1.2.2 El medio artificial

Antecedentes arquitectónicos

Es muy importante rescatar la experiencia y los aciertos de la arquitectura local.

“Conocer las características de la arquitectura propia de cada localidad o región en estudio, detectando tipologías que permitan establecer un criterio para evitar la destrucción o deterioro de un medio ambiente cultural significativo. La tipología en este caso se define como el conjunto de valores esenciales que caracterizan y determinan a la arquitectura propia de una región.”³⁸. Como resultado se deberá contar con una definición tipológica.

³⁸ Ferreiro, Héctor. *Hombre, el Hábitat, el medio la energía y el método*. Cap. 1. *Manual de Arquitectura Solar*, Op.Cit. pp 13-20

Infraestructura y equipamiento

El objetivo es conocer y evaluar la infraestructura y equipamiento del sitio de análisis, para poder aprovecharlos en el proyecto o para proponer sistemas tecnológicos apropiados y alternativos más eficientes y con menores consumos energéticos. Como resultado se contará con un diagnóstico de la infraestructura y equipamiento.

Estudio de tecnología local y apropiada

Es importante hacer un estudio de materiales constructivos regionales, sistemas y procedimientos constructivos. Estudiar que materiales reciclados o reciclables pueden incorporarse al proyecto, que sistemas son los más apropiados con el fin de permitir una reutilización o reincorporación adecuada al medio al finalizar la vida útil de la obra, también se debe estudiar la factibilidad de utilizar eco-tecnología.

Como resultado se contará con un estudio detallado de materiales y sistemas constructivos locales apropiados, así como de las eco-tecnologías factibles de utilizar.

3.1.2.3 El medio socio-cultural

Determinar y evaluar las condicionantes económicas, políticas, sociales y culturales de la localidad, incluyendo los aspectos legales, normativos, reglamentarios o restrictivos enfocados a determinar la factibilidad y pertinencia del proyecto.

3.1.3 EL USUARIO

El usuario o el hombre deberá estudiarse de manera integral considerando sus tres áreas fundamentales. “El hombre en su relación con el medio, contemplado a través del diseño integra tres áreas fundamentales:

- a. El *área física* establece la relación básica del hombre con su medio y permite su existencia.
- b. El *área psicológica* establece una relación con el medio percibida a través de los sentidos. Esta le permite al hombre estar consciente de su existencia y su significado.
- c. El *área socio-cultural* permite conformar una identidad individual y de grupo social (colectiva), que a su vez se constituye en un hábitat único.”³⁹

³⁹ Ibid. Ferreiro, Héctor...

3.1.3.1 Bienestar y confort

Conocer las condiciones particulares del bienestar humano, de manera detallada para los usuarios particulares del proyecto, así como en función de los requerimientos funcionales específicos. Los factores de confort se dividen en:

Confort higro-térmico

Confort lumínico

Confort acústico

Confort olfativo

Bienestar electromagnético.

Confort psicológico

Como resultado se obtendrán todos los rangos o límites de confort, higro-térmico, lumínico, acústico. Como herramientas de análisis se elaborarán: la carta bioclimática, diagrama bioclimático, triángulo de confort, etc.

3.1.3.2 Necesidades y requerimientos

Analizar y evaluar los requerimientos de confort en relación con los requerimientos funcionales y espaciales del proyecto arquitectónico. Se deberán hacer tablas relacionadas de índices de confort en relación con el programa arquitectónico, horarios y usos del espacio; así como tablas de confort relacionadas con los datos climáticos horarios.

Como resultado se obtendrán: el programa arquitectónico detallado (el programa de requerimientos y necesidades, diagramas de funcionamiento, listado de locales estudio de áreas, horarios y formas de uso horario de los espacios, etc) de manera integral se elaborará una matriz resumen de confort.

3.1.4. DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS DE DISEÑO

La definición de las estrategias de diseño consiste en determinar las acciones necesarias y la manera en como éstas acciones se coordinan para conseguir el objetivo deseado. Las estrategias se dividen en los mismos términos que los factores de confort:

3.1.4.1 de climatización

- de calentamiento o enfriamiento
- de humidificación o deshumidificación
- de inercia o masividad
- de ventilación

3.1.4.2 de iluminación

- natural
- artificial

3.1.4.3 de acústica

- acústica
- control de ruidos

3.1.4.4 de control de contaminantes

- del aire
- del suelo
- del agua
- electromagnética

3.1.5 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO

Los conceptos son ideas o pensamientos expresados de manera verbal o gráfica, que corresponden ya sea a una idea arquitectónica, espacial o de detalle que da solución a los problemas previamente definidos. La definición de conceptos arquitectónicos en general es propia de la metodología de diseño arquitectónico, aquí se enuncian únicamente los conceptos de tipo bioclimático.

3.1.5.1 Sistemas Pasivos de Acondicionamiento Bioclimático

Es necesario “conocer los principios físicos y las técnicas en que se basan estos sistemas, para emplearlos de manera eficaz, los cuales deben integrarse desde la concepción inicial del diseño, a fin de lograr una adecuada relación de la arquitectura al medio. Los sistemas pasivos son aquellos que permiten captar, controlar, almacenar, distribuir o emitir los aportes de la energía natural sin intervención de ninguna fuente de energía.”⁴⁰

⁴⁰ Ibid. Ferreiro, Héctor...

Se estudian tres sistemas básicos:

- Sistemas pasivos de climatización (climatización natural)
- Sistemas pasivos de iluminación (iluminación natural)
- Sistemas pasivo acústicos y para el control de ruidos (acústica arquitectónica)

3.1.5.2 Sistemas Activos e híbridos de Acondicionamiento Bioclimático

Es necesario conocer y emplear en forma eficiente los distintos sistemas activos, o sea aquellos en que, a la energía natural que los opera en forma prioritaria, se incorpora algún dispositivo de apoyo mecánico o eléctrico que funciona con algún aporte de energía convencional, para lograr su óptimo funcionamiento. Estos sistemas son necesarios cuando los sistemas pasivos no son suficientes para lograr el control ambiental adecuado o deseado; y sobre todo se utilizan cuando se pretende hacer un uso eficiente de la energía y los recursos.

Se estudian distintos sistemas activos y tecnologías apropiadas:

- Sistemas activos de climatización (acondicionamiento artificial)
- Sistemas activos de iluminación (iluminación artificial)
- Sistemas activos de Acústica (Electroacústica)
- Generación y control de la energía (uso eficiente de la energía: electricidad, gas, combustibles líquidos, leña, etc.; vinculado con los sistemas anteriores)
- Manejo y control del agua (captación pluvial, reutilización, calentamiento, purificación, etc.) (uso eficiente del recurso hídrico)
- Manejo de desechos (líquidos y sólidos), etc.
- Manejo y control de contaminantes

3.1.6. ANTEPROYECTO

Una vez definidas las estrategias de diseño y los conceptos bioclimáticos a utilizarse, se procede a realizar el anteproyecto arquitectónico. (Se tomarán en cuenta los conceptos: funcionales, espaciales, estéticos y de integración de tecnologías, estructurales y constructivos, bioclimáticos, diseño de exteriores, etc.)

3.1.7. EVALUACIÓN

La evaluación del proyecto deberá hacerse desde distintos ángulos:

3.1.7.1 Arquitectónica:

Revisión de las estrategias y conceptos de diseño en detalle. Así como el funcionamiento, áreas e interrelación de locales; y también aspectos estéticos. (por ejemplo de la integración tecnológica)

3.1.7.2 De confort:

Térmico : a través de modelos matemáticos de simulación

De asoleamiento y control solar: A través de modelos gráficos, matemáticos o físicos en heliodón

De Ventilación: A través de modelos matemáticos, túnel de viento o cámara de humos.

Lumínico: a través de modelos gráficos, matemáticos o en cielo artificial

Acústico y control de ruidos: por medio de cálculos matemáticos simples.

3.1.7.3 Energética:

Evaluación de los usos de la energía en climatización e iluminación artificial, y de tecnologías apropiadas aplicables al proyecto para hacer un uso más eficiente de la energía y los recursos.

A través de un diagnóstico energético y balance térmico.

3.1.7.4 Ambiental:

Se desarrollará un estudio de impacto ambiental (a través de listas, índices o matrices) y estudios de como se integrará el edificio a los ecosistemas naturales y urbanos, tanto durante su vida útil como en su reincorporación final. (incluyendo factibilidad de uso de materiales reciclados y reciclables, etc.)

3.1.7.5 Normativa:

El proyecto deberá responder a todos los aspectos legales, normativos y reglamentarios vigentes de la localidad.

3.1.7.6 Económica:

Se desarrollará dos tipos de análisis:

Económico:

- Presupuesto de proyecto y obra
- de operación y mantenimiento
- Análisis comparativo tradicional vs. bioclimático

Financiero:

- de inversión
- de amortización.

3.1.8. PROYECTO ARQUITECTÓNICO.

En el proyecto arquitectónico definitivo se hacen los ajustes pertinentes arrojados por las evaluaciones realizadas.

3.1.9 EVALUACIÓN DE LA OBRA

La metodología bioclimática no debe terminar al finalizar el proyecto o al construirlo, sino que es necesario evaluar la obra ya operando. De esta manera, no sólo se da continuidad y seguimiento a los proyectos sino que también se obtiene una experiencia valiosa de cada uno de ellos. Esta experiencia será de gran utilidad para proyectos posteriores.

4.4. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

Como ya se mencionó, el clima define las condiciones atmosféricas características, cerca de la superficie terrestre, de un lugar o de una región dada. Los elementos del clima y factores determinantes son los mismos que definen al tiempo meteorológico, pero no de manera instantánea, sino a lo largo de varios años. El periodo de observación mínimo para la definición climática es de 30 años.

Existen diversos métodos de clasificación climática, sin embargo el más usado mundialmente es el propuesto por el Dr. Wladimir Köppen (1918) y revisado por sus alumnos R Geiger y W. Pohl (1953)¹¹⁰ Quizá el mayor aporte de éste método es que la definición climática se basa en la vegetación (los principales grupos de plantas superiores), Köppen trató de interrelacionar las fronteras vegetales con las climáticas. Esto es importante ya que la vegetación está íntimamente relacionada con el clima además de ser la especie viviente productora de alimentos y por lo tanto la determinante de la vida de todos los animales incluyendo al hombre. De esta forma se puede considerar como una clasificación “bioclimática”, ya que relaciona la vida (vegetal) con las condiciones del clima.

En el sistema de Köppen, los climas se definen de acuerdo a los datos de temperatura y precipitación, en términos anuales y mensuales. De esta forma existen cinco grupos climáticos fundamentales¹¹¹:

- Grupo de climas A: *Clima cálido húmedo.*
- Grupo de climas B: *Clima seco.*
- Grupo de climas C: *Clima templado húmedo.*
- Grupo de climas D: *Clima boreal.*
- Grupo de climas E: *Clima polar*

Estos grupos pueden subdividirse en distintos tipos de acuerdo a los siguientes modificadores:

¹¹⁰ Strahler, Arthur N. & Strhler, Alan H. *Modern Physical Geography*. John Wiley & Sons, New York, U.S.A, 1983

¹¹¹ García, Enriqueta. *Apuntes de Climatología*. Talleres Larios, S.A. México, D.F. 1986.

Modificadores para los grupos A, C y D:

- f** Precipitación durante todo el año
- w** Estación seca en invierno, lluvias en verano
- s** Estación seca en verano, lluvias en invierno
- m** lluvias abundantes en verano con influencia de monzón. (sólo para el grupo A)

Modificadores del grupo B:

- S** Semiárido (Clima de estepa)
- W** Árido (clima de desierto)

Modificadores del clima E:

- T** Clima de tundra
- F** Nieve perpetua

CLIMAS SEGÚN KÖPPEN¹¹²

Grupo de climas A

Clima cálido húmedo o tropical lluvioso (megatermal). La temperatura media del mes más frío está por arriba de 18 °C, por lo tanto estos climas no presentan una época invernal definida. La precipitación total anual es mayor a 1000 mm y sobrepasa a la evaporación anual. Normalmente se presenta en lugares intertropicales con altitudes inferiores a los 800 o 1000 msnm. En estos climas predominan las plantas megatérmas.

Dentro del grupo A se pueden encontrar tres tipos:

Tipo Af: (clima de selva)

Tipo cálido húmedo con lluvias abundantes durante todo el año. La precipitación del mes más seco es mayor a 60 mm. Es normalmente un clima isotermal, es decir que la oscilación anual de la temperatura media es menor a 5 °C.

¹¹² García, Enriqueta. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Talleres Larios, México, 1988

Tipo Am:

Tipo cálido húmedo con lluvias abundantes en verano y con influencia de monzón. La precipitación del mes más seco es inferior a 60 mm. Presenta una estación invernal seca

Tipo Aw: (clima de sabana)

Tipo cálido sub-húmedo con lluvias en verano. Por lo menos un mes cuenta con lluvias inferiores a los 60 mm, y por lo menos 10 veces mas cantidad de lluvia en el mes más lluvioso, de la estación cálida, que en el mes menos lluvioso.

Otras designaciones usadas con los climas A:

- w' Máximo de lluvias en otoño
- w'' Dos máximos de lluvia separados por dos estaciones secas
- s Lluvias en invierno (por lo menos tres veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad fría del año que en el mes seco).
- i isotermal, con una oscilación anual menor a 5 °C
- g Comportamiento térmico tipo ganges, es decir que el mes más caluroso se presenta antes del solsticio de verano y de la temporada de lluvias.

GRUPO DE CLIMAS B

Clima seco. La evaporación sobrepasa a la precipitación promedio anual. No hay excedente de agua por lo que en estas zonas no hay arroyos permanentes. En este clima predominan las plantas xerófitas.

En este tipo de climas la precipitación no es suficiente para determinar los límites entre los climas B y los húmedos (A, C, o D), ya que el efecto de la precipitación en el crecimiento de las plantas depende del grado de evaporación, mientras que la evaporación depende de la temperatura. Por lo tanto, para definir los tipos de climas secos, se deben considerar tanto la temperatura como la precipitación.

Existen dos tipos de climas secos:

Tipo BW: (clima desértico)

Tipo árido o desértico con precipitaciones anuales generalmente inferiores a 400 mm

Tipo BS: (clima estepario)

Tipo semi-árido caracterizado por sus pastizales o zacatales con precipitación anual generalmente inferior a 650 mm

Las fórmulas para separar a los climas secos (B) de los húmedos (A, C, y D) y a los desérticos (BW) de los esteparios (BS) se expresa en función de los siguientes términos:

(rh) Es la cantidad total anual de lluvias (en centímetros), mínima necesaria para que el clima sea húmedo. Con menos de esa cantidad el clima será seco, y con más será húmedo.

(rs) Es la cantidad total anual de lluvia (en centímetros), mínima necesaria para que el clima sea estepario. Con menos de esa cantidad el clima será desértico y con más será estepario).

t Temperatura media anual

Además de estos criterios, se deberá considerar el régimen de lluvias, el cuál puede ser de tres tipos: lluvias uniformemente repartidas a lo largo de todo el año; lluvias en verano y lluvias en invierno. De acuerdo a estos criterios los climas secos se determinan mediante las siguientes fórmulas:

1. Régimen de lluvias en verano (la precipitación del mes más lluvioso de la mitad caliente del año es mayor de 10 veces que la del mes mas seco)

$$rh = 2t + 28$$

$$rs = (2t+28)/2$$

2. Régimen de lluvias en uniformemente repartidas (intermedio entre los climas con lluvias en verano y los de lluvias en invierno):

$$rh = 2t + 14$$

$$rs = (2t+14)/2$$

3. Régimen de lluvias en invierno (la precipitación del mes más lluvioso de la mitad fría del año es por lo menos tres veces mayor que la del mes más seco):

$$rh = 2t$$

$$rs = 2t/2$$

Otras designaciones usadas con los climas secos B:

h	Temperatura media anual superior a 18 °C
h'	Temperatura de todos los meses superior a 18 °C
k	Temperatura media anual menor a 18 °C
k'	Temperatura de todos los meses inferior a 18 °C
w	Régimen de lluvias de verano
w'	Máximo de lluvias en otoño
w''	Dos máximos de lluvia separados por dos estaciones secas
s	Régimen de lluvias en invierno
x'	Lluvias todo el año, aunque poco abundantes
n	Con nieblas frecuentes

GRUPO DE CLIMAS C

Clima templado húmedo (mesotermal). La temperatura media del mes más frío esta por debajo de 18 °C pero arriba de -3 °C; y al menos un mes tiene una temperatura media mayor a 10 °C. por lo tanto estos climas si presentan estaciones de verano e invierno diferenciadas. Predominan las plantas mesotérmicas.

Tipo Cf: (Clima templado húmedo)

Clima templado húmedo con lluvias uniformemente repartidas y sin estación seca definida.

Con precipitación media del mes mas seco superior a 30mm.

Tipo Cw: (clima sínico)

Clima templado sub-húmedo con lluvias en verano. Por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitas calurosa del año que en el mes más seco.

Tipo Cs: (clima mediterráneo o etesio)

Clima templado con lluvias en invierno. El mes más húmedo del invierno tiene por lo menos tres veces más lluvia que el mes más seco.

Otras designaciones que se usan con los climas C:

a	Verano caliente, con temperatura media del mes más caluroso superior a 22 °C
b	Verano fresco, con temperatura media del mes más caluroso menor a 22 °C
c	Verano frío y corto, con temperatura media del mes más caluroso menor a 22 °C y menos de cuatro meses con temperatura mayor de 10 °C.

w'	Máximo de lluvias en otoño
w''	Dos máximos de lluvia separados por dos estaciones secas
i	Isotermal, con oscilación anual menor a 5 °C
g	Comportamiento térmico tipo ganges
x'	Con lluvias uniformemente repartidas pero poco abundantes
n	Con nieblas frecuentes.

Grupo de climas D:

Clima boreal o Subártico, “bosque nevado” (microtermal). La temperatura media del mes más frío está por debajo de -3 °C y la del mes más caluroso por arriba de 10 °C. Húmedo con inviernos rigurosos. Se presentan nevadas en uno o varios meses. Predominan las coníferas.

Tipo Df: (Clima oceánico boreal, canadiense o bosque nevado)

Clima sub-ártico, húmedo sin estación seca bien definida (con lluvias todo el año)

Tipo Dw: (Clima continental boreal o transbaicálico)

Clima sub-ártico húmedo con lluvias en verano

Otras designaciones usadas con los climas D:

a	Verano caliente, con temperatura media del mes más caluroso superior a 22 °C
b	Verano fresco, con temperatura media del mes más caluroso menor a 22 °C
c	Verano frío y corto, con temperatura media del mes más caluroso menor a 22 °C y menos de cuatro meses con temperatura mayor de 10 °C.
d	Promedio de temperaturas del mes más frío menor de 38 °C
i	Isotermal, con oscilación anual menor a 5 °C

Grupo de climas E:

Clima Polar o frío (hekeistotermal). La temperatura media del mes más caluroso está por debajo de 10 °C. Clima realmente sin verano. Grandes extensiones cubiertas de hielo, por lo que la vegetación se limita a musgos, algas, helechos y líquenes y se presenta en estaciones cortas.

Tipo ET: (Clima de tundra)

Temperatura del mes más caluroso mayor de 0 °C

Tipo EF: (Clima de hielos perpetuos)

La temperatura medio de todos los meses esta por debajo de 0 °C. En este clima no hay vegetación.

Otras designaciones usadas con los climas E:

- B Clima frío seco. Si su límite de precipitación cae dentro de los límites de climas B
- C Si la temperatura media del mes más frío es mayor de -3 °C
- H Si el clima E se encuentra a una altitud mayor a 1500 msnm.
- i Isotermal. Si la oscilación anual es menor a 5 °C.
- w Régimen de lluvias de verano
- w' Máximo de lluvias en otoño
- w'' Dos máximos de lluvia separados por dos estaciones secas
- s Lluvias en invierno (por lo menos tres veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad fría del año que en el mes seco).

A esta clasificación original de Köppen, Enriqueta García le hizo algunas modificaciones para adecuarla a las condiciones específicas de la República Mexicana. Algunas tienen que ver con la designación de los climas, por ejemplo al clima Af que Köppen llama “clima de selva” García lo nombra “clima caliente y húmedo con lluvias todo el año”. Otras modificaciones se refieren a la temperatura, oscilación o precipitación, por ejemplos, para diferenciar los grados de humedad y régimen de lluvias. García añade las fórmulas:

$$r_h = 2t + 21$$

$$r_s = (2t + 21) / 2$$

Fórmulas que se aplican para los climas con régimen de lluvias de verano y con un porcentaje de precipitación invernal mayor a 10.2. En términos generales, las claves modificadas por García aparecen entre paréntesis, para diferenciarlas de aquellas del sistema original. Aquí se presentan las tablas para la clasificación climática de Köppen, la original y las presentadas por Enriqueta García. Para mayor información se recomienda consultar la fuente original de E. García¹¹³.

¹¹³ García, Enriqueta. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Talleres Larios, México. 1988

4.4.1 AGRUPACIÓN BIOCLIMÁTICA DE CIUDADES

Conjuntamente con la clasificación climática de Köppen, es conveniente determinar que tipo de agrupación bioclimática tiene una localidad. El sistema de agrupación bioclimática de ciudades¹¹⁴ tiene por objetivo el agrupar de manera simplificada a las localidades de acuerdo a sus requerimientos arquitectónicos y bioclimáticos. Cabe enfatizar que esta agrupación no sustituye a la clasificación de Köppen-García, sino que trata de complementarse específicamente desde el punto de vista de las estrategias de diseño arquitectónico.

Para establecer la agrupación bioclimática son necesarios los parámetros de temperatura y precipitación pluvial. Desde el punto de vista bioclimático es más significativa la humedad relativa que la precipitación, sin embargo, es difícil encontrar datos de humedad relativa para muchas ciudades de la República Mexicana, ya que es un parámetro que no se mide en las estaciones climatológicas, sino únicamente en los observatorios meteorológicos. Por ello es conveniente hacer un análisis climático detallado para verificar el comportamiento de la humedad.

Temperatura:

Para determinar la agrupación bioclimática en función de la temperatura se considera la temperatura media del mes más caluroso del año, ya que ésta determinará los requisitos de enfriamiento, confort o calentamiento para la estación más cálida. Los rangos de la agrupación desde el punto de vista térmico son:

- Temperatura menor de 21 °C para requerimientos de calentamiento.
- Temperaturas entre 21 y 26 °C Para Zona de Confort Térmico.
- Temperatura mayor a 26 °C para requerimientos de enfriamiento.

Precipitación Pluvial:

La precipitación pluvial total anual se utiliza para determinar los requisitos de humidificación o deshumidificación. Los rangos establecidos son:

¹¹⁴ Fuentes, Víctor y Figueroa, Anibal. *Criterios de Adecuación Bioclimática en la Arquitectura* IMSS no. 7300, México, D.F. 1990

- Menor a 650 mm de precipitación para requerimientos de humedad
- Entre 650 y 1000 mm para confort hídrico
- Mayor a 1000 mm para requerimientos de deshumidificación.

De tal forma se definen una matriz con nueve zonas o agrupaciones:

Temp. media del mes más cálido

26 °C	Localidades con requerimientos de enfriamiento y humidificación	Localidades con requerimientos de enfriamiento	Localidades con requerimientos de enfriamiento y deshumidificación
	Localidades con requerimientos de humidificación	Localidades en confort, térmico e hídrico	Localidades con requerimientos de deshumidificación
21 °C	Localidades con requerimientos de calentamiento y humidificación	Localidades con requerimientos de calentamiento	Localidades con requerimientos de calentamiento y deshumidificación
Precipitación pluvial total anual		650	1000

Con el fin de nombrar estas zonas se eligieron los siguientes términos:

232	Cálido Seco	Cálido	Cálido Húmedo
	Templado Seco	Templado	Templado Húmedo
	Semi-Frío Seco	Semi-Frío	Semi-Frío Húmedo

Temp. media del
mes más cálido

26 °C

21 °C

Precipitación pluvial total anual

650

1000

SEMI-FRÍO SECO

En esta zona se agrupan las ciudades con requerimientos de calentamiento tanto en verano como en invierno y que presentan poca precipitación pluvial durante todo el año, por ello serán generalmente climas BS o Cw. Agrupando ciudades como: Zacatecas, Pachuca, Actopan, etc.

SEMI-FRÍOS

En esta zona se agrupan ciudades con requerimientos de calentamiento durante todo el año, y presentan una precipitación pluvial media generalmente climas Cw. Por ejemplo: Toluca, Apizaco, Chalco, etc.

SEMI-FRÍOS HÚMEDOS

Localidades que requieren calentamiento todo el año, pero con un régimen alto de precipitación pluvial; generalmente climas Cw o Cf. Por ejemplo: San Cristóbal las Casas, Amecameca, Desierto de los Leones, Valle de Bravo, etc.

TEMPLADO SECO

Localidades con verano confortable pero con requerimientos de calentamiento durante el invierno y poca precipitación anual; generalmente climas BS, por ejemplo: Saltillo, Durango, Aguascalientes, León, etc.

TEMPLADO

Ciudades que presentan verano confortable y requerimientos de calentamiento en el invierno, no hay requerimientos de humedad. Climas Cw, (A)C. Por ejemplo: Irapuato, Guadalajara, Guanajuato, etc.

TEMPLADO HÚMEDO

En esta zona se agrupan ciudades con verano confortable y bajos requerimientos de calefacción en invierno, poca oscilación térmica y precipitación pluvial elevada; generalmente climas Cfm, A(C) y (A)C: por ejemplo: Orizaba, Cuernavaca, Tepic, etc.

CÁLIDO SECO

Ciudad con requerimientos de enfriamiento en el verano y poca precipitación pluvial. Climas BW y BS, Por ejemplo: Monterrey, Torreón, La Paz, etc.

CLIMA CÁLIDO

Localidades con requerimientos de enfriamiento en verano y precipitación pluvial media; climas Aw, (A)C, por ejemplo: Colima, Mérida y Tuxtla Gutierrez.

CÁLIDO HÚMEDO

Ciudades con requerimientos de enfriamiento todo el año y régimen elevado de precipitación pluvial; generalmente climas Af, Am, Aw. Por ejemplo: Campeche, Tampico, Cozumel, Villahermosa, Acapulco, etc.

Se presenta anexo a este documento el análisis de 600 ciudades de la república Mexicana, las cuales fueron seleccionadas de manera aleatoria. Los resultados generales son los siguientes:

Tabla 33. Análisis de 600 Ciudades de la República Mexicana
Parámetros estadísticos básicos relacionados con la temperatura

Temperatura Media			Osc anual °C	Zona de Confort		
max. °C	anual °C	min. °C		Límite inferior °C	Tn °C	Límite superior °C

MÁXIMA	33.90	29.50	28.20	21.30	24.25	26.75	29.25
MEDIA	23.74	19.97	15.73	8.00	21.30	23.80	26.30
MÍNIMA	5.80	4.20	2.80	0.80	16.40	18.90	21.40
MODA	28.60	17.50	12.60	7.10	20.53	23.03	25.53
MEDIANA	23.70	19.60	14.60	6.70	21.18	23.68	26.18
DES. EST.	4.95	4.50	4.85	3.90	1.39	1.39	1.39

Parámetros estadísticos básicos relacionados con la Precipitación

PP			P/T	PP Invernal %
mín. mm	máx. mm	total mm.		

MÁXIMA	202.00	988.10	4881.40	296.07	60.90
MEDIA	11.81	199.09	935.75	47.65	7.22
MÍNIMA	0.00	5.50	36.70	1.61	0.10
MODA	0.00	89.60	93.70	41.21	3.10
MEDIANA	5.40	169.05	758.05	39.97	4.80
DES. EST.	20.72	134.61	708.70	33.84	8.34
No. De Casos					

IV

CLIMATOLOGÍA

4. CLIMATOLOGÍA

4.1 CONCEPTOS BÁSICOS

El clima es uno de los factores fundamentales de diseño bioclimático, ya que es éste el que, en gran medida, determina los conceptos y esquemas arquitectónicos básicos, forma y proporción, materiales constructivos e incluso los colores y texturas de las edificaciones.

Es muy importante entender claramente cada uno de los elementos y factores del clima y como se relacionan entre sí, sólo de esta forma se podrá llegar a un análisis climático certero y útil que vaya más allá de una simple recopilación de datos, tablas y gráficas que llenan el expediente de «estudios preliminares» de un proyecto. Si se pretende realizar un proyecto integrado a su ambiente natural, es indispensable que el diseñador aproveche al máximo los datos obtenidos, traduciéndolos en acciones concretas de diseño.

4.1.1 LAS ESFERAS GEOGRÁFICAS

Con fines prácticos para su estudio, la Tierra, o su ambiente global se divide en cuatro «esferas», tres de ellas relacionadas con la materia inorgánica o abiótica, mientras que la cuarta comprende a todos los organismos vivientes o elementos bióticos. (En algunos textos se incluye a la magnetosfera o esfera electro-magnética terrestre como una quinta esfera)

Las tres esferas inorgánicas son:

- LA ATMÓSFERA o «*esfera del aire*», que abarca a toda la masa gaseosa que envuelve al planeta.
- LA HIDROSFERA o «*esfera de agua*» la cual incluye a toda el agua presente en el planeta, ya sea en estado gaseoso, líquido o sólido, y
- LA LITOSFERA o «*esfera de piedra*» que se refiere a toda la materia sólida inerte o mineral.

La esfera orgánica es:

- La «*esfera de la vida*» o BIOSFERA requiere materiales de las otras tres esferas inorgánicas ya que éstos elementos son los que se usan para formar las moléculas que originan la materia orgánica.

Todas las esferas interactúan entre sí con múltiples y complejas relaciones que establecen un continuo flujo de materia y energía. Evidentemente estas interrelaciones se conforman en un sistema abierto, donde la principal fuente de energía es externa, proveniente del Sol.

Hay que tomar en cuenta también, que la relación entre estas cuatro esferas no es uniforme, sino que se va particularizando por regiones delimitadas por características similares más o menos definibles, a las cuales se les denomina *ecosistemas*. Por definición un ecosistema es “un sistema completo que incluye tanto a los organismos como al medio ambiente abiótico, de tal manera que aquellos influyen sobre las propiedades de éste y viceversa”⁴¹, pero hay que considerar que un ecosistema no es una unidad espacial delimitada, sino un nivel de organización formado por individuos de varias especies que persisten a través del tiempo debido a la interrelación entre ellos y los flujos de materia y energía que se establece con las esferas inorgánicas.

4.1.1.1 LA ATMÓSFERA

La atmósfera es una masa gaseosa que envuelve a la tierra con un espesor de varios cientos de kilómetros. Gracias a ella es posible la vida en la Tierra, ya que, además de proveer el oxígeno necesario para todas las especies, actúa como un regulador térmico que equilibra los flujos de energía, solar y terrestre.

Composición atmosférica

El aire seco y puro en las capas bajas de la atmósfera está compuesto por un 78.08% de Nitrógeno, un 20.95% de Oxígeno y el resto de otros gases.

⁴¹ Odum, Eugene P. *Ecología: El vínculo entre las ciencias naturales y las sociales*. Editorial Continental S.A. de C.V. México, D.F. 1986

Tabla 1. Composición del aire ⁴²

gas	símbolo	% en volumen
Nitrógeno	N	78.08
Oxígeno	O	20.95
Argón	A	0.93
Dióxido de carbono	CO ₂	0.03
Total		99.99
otros gases que no se combinan :		
Neón	Ne	1.8 x 10 ⁻³
Hélio	He	5.3 x 10 ⁻⁴
Kriptón	Kr	1.0 x 10 ⁻⁴
Hidrógeno	H	5.0 x 10 ⁻⁵
Xenón	Xe	8.0 x 10 ⁻⁶
Ozono *	O ₃	1.0 x 10 ⁻⁶
Radón **	Rn	6.0 x 10 ⁻¹⁸

El Nitrógeno tiene dificultad para unirse químicamente a otras sustancias, mientras que el Oxígeno es muy activo y se combina fácilmente con otros elementos en los procesos de oxidación. El Argón es un gas inactivo de poca importancia en los procesos naturales, sin embargo el Dióxido de Carbono es muy importante debido a su capacidad de absorber energía radiante, tanto proveniente del Sol como de la superficie de la Tierra; además de ser un elemento importante para las plantas, las cuales utilizan Dióxido de carbono y agua en los procesos de fotosíntesis para producir carbohidratos. Además de los gases *permanentes*, la atmósfera contiene una cantidad variable de vapor de agua que depende de las características térmicas y de humedad en un lugar y tiempo determinados.

En términos generales se puede decir que el contenido de vapor de agua disminuye al aumentar la latitud; En condiciones de alta temperatura y humedad, el vapor de agua puede alcanzar hasta un 5% (en peso de aire seco), pero en condiciones normales el promedio es de 2.6% en las zonas tropicales húmedas, entre 0° y 20° de latitud; alrededor de la latitud 50° éste porcentaje disminuye a cerca del 1%, mientras que arriba de la latitud 70° el promedio de vapor de agua puede llegar hasta el 0.2%.

⁴² García, Enriqueta. *Apuntes de Climatología*. Talleres Larios, S.A. México, DF. 1986

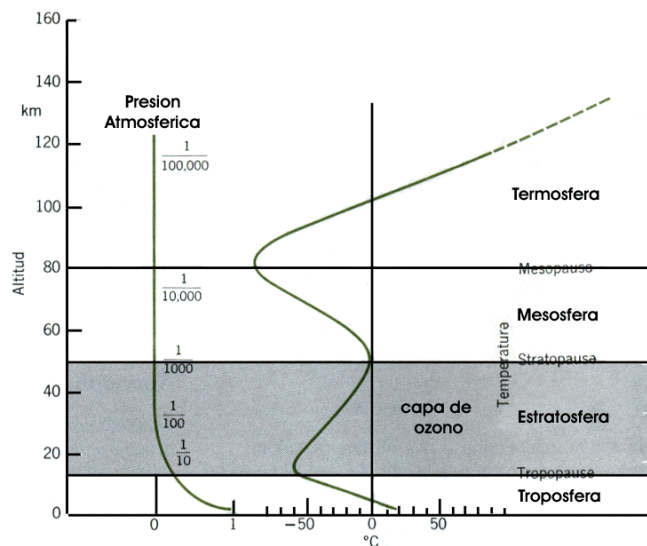
A pesar de que los contenidos de vapor de agua pueden ser relativamente bajos en comparación con otros gases, es uno de los factores más importantes que influye en los fenómenos atmosféricos.

Capas atmosféricas y su comportamiento térmico

La atmósfera no es uniforme a lo largo de todo su espesor, sino que presenta diversas características de composición y comportamiento térmico; de acuerdo a éste comportamiento la atmósfera se divide en varias capas o estratos. La primera capa se denomina Troposfera y abarca desde el nivel del mar hasta una altura entre los 17 y 18 kilómetros en el ecuador, y entre 9 y 10 Km en los polos. En esta capa se concentra el 90% de la masa total atmosférica y es donde se encuentra casi la totalidad del vapor de agua, es por ello que en esta capa se llevan a cabo la mayoría de los fenómenos meteorológicos.

En esta capa la temperatura disminuye con la altitud a razón de $6.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ por cada 1000 metros en promedio, esta relación es comúnmente llamada *gradiente térmico*⁴³.

La Troposfera es la capa en donde se da la vida de todas las especies aeróbicas, incluyendo al hombre, por lo que cualquier cambio atmosférico las afecta directamente.



Capas Atmosféricas en función de su comportamiento térmico

⁴³ Strahler, Arthur. *Modern Physical Geography*. John Wiley and Sons. New York. USA 1983 p.38

El límite superior de la Troposfera se llama Tropopausa y marca la transición hacia la siguiente capa llamada Estratosfera, la cual es una región estable con relativamente poca turbulencia; se extiende desde la Tropopausa hasta los 50 Km. de altitud, aproximadamente.

En esta capa el gradiente térmico cambia, notándose un incremento de temperatura conforme se avanza en altitud. Dentro de la Estratosfera se encuentra una capa de ozono, aproximadamente hasta los 30 Km. de altitud, el cual se produce debido a la acción de la radiación solar sobre los átomos de oxígeno. Esta capa de ozono protege a la Troposfera y a la superficie terrestre, ya que absorbe la mayoría de las radiaciones ultravioletas contenidas en los rayos solares, radiaciones nocivas para cualquier forma de vida.

El límite superior de la Estratosfera se conoce con el nombre de Estratopausa y es la transición con la siguiente capa llamada Mesosfera, la cual se extiende hasta los 80 Km. de altitud.

En esta capa la temperatura nuevamente disminuye con la altura, llegando en la parte superior hasta los $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$; este límite se llama Mesopausa

Estas tres capas iniciales, forman parte de la llamada *baja atmósfera*, o también llamada homosfera, es la zona donde el aire se mueve y se renueva constantemente, y donde su composición es uniforme.

La Mesopausa da entrada a la capa llamada Termosfera, donde la temperatura se incrementa rápidamente hasta alcanzar los $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ a una altura de 500 Km. Esta capa forma parte de la alta atmósfera o también llamada heterosfera ya que en esta zona la naturaleza del aire cambia en función de las reacciones químicas y los procesos físicos.

A partir de la exobase, a los 500 Km. de altitud, se encuentra la Exosfera, última capa formada por moléculas sueltas cuya concentración va disminuyendo progresivamente hasta los 2,000 Km., límite comúnmente usado para fijar la barrera entre la atmósfera y el espacio interestelar.

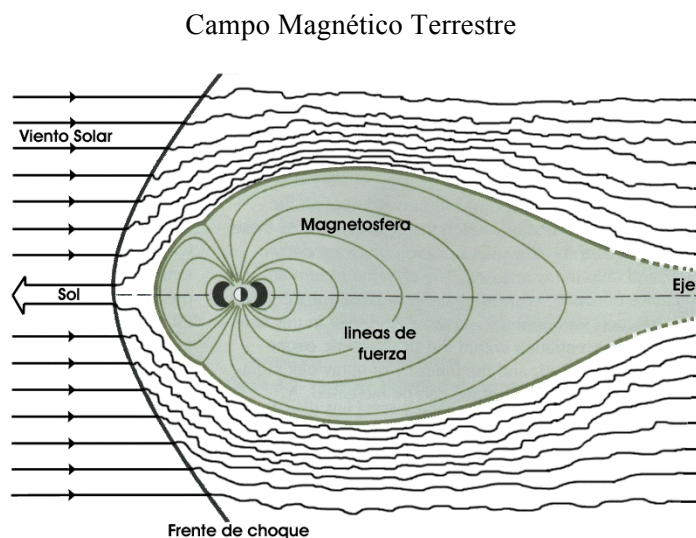
Atmósfera magnética terrestre

Además de la clasificación anterior basándose en la estructura térmica de la atmósfera, también se pueden diferenciar dos zonas muy importantes en función de sus características eléctricas y magnéticas. La primera es la Ionosfera, la cual se encuentra ubicada entre los 60 y 600 Km de altitud. En esta capa los átomos del aire están intensamente ionizados por los rayos cósmicos, ultravioletas y X, convirtiéndose en un conductor eléctrico, lo cual le permite interceptar ciertas ondas radioeléctricas y electromagnéticas.

La otra capa es la Magnetosfera. La Tierra posee un campo magnético parecido al de un imán. El magnetismo se genera en el centro o «*coro*» de la tierra, formándose un campo esférico central a la mitad del diámetro terrestre. El eje magnético terrestre está desviado varios grados con respecto al eje geográfico, de tal forma que los *polos* magnéticos norte y sur no coinciden con los polos geográficos; y del mismo modo el ecuador magnético no coincide con el geográfico.

Las líneas de fuerza del campo magnético salen del centro de la Tierra hacia la superficie y se extienden hasta la atmósfera y el espacio exterior; en este caso se llama campo magnético exterior.

Comparativamente este campo puede entenderse como una *atmósfera magnética*, pero considerando que su alcance va mucho más allá de los límites gaseosos de la atmósfera. Toda la región comprendida dentro del campo magnético es llamada Magnetosfera y su límite Magnetopausa.



La Magnetosfera no es simétrica respecto a su eje debido al efecto del viento solar, un continuo flujo de electrones y protones que emite el Sol. El viento solar actúa sobre la Magnetosfera presionándola en la cara de choque (frente al Sol) y extendiéndola en la cara opuesta; de esta forma la deformación de la Magnetosfera se da de manera análoga a la cola de un cometa.

El papel ambiental de la Magnetosfera es muy importante, ya que actúa como un campo protector que evita que la «radiación iónica solar» penetre a las capas atmosféricas bajas y a la superficie de la Tierra. Esta radiación iónica es tan poderosa y peligrosa como la producida por elementos radioactivos como el uranio, por lo que, de no existir la Magnetosfera, no podría darse la vida.

Presión atmosférica

El aire es una sustancia material tangible que pesa. Una columna de aire de dos mil kilómetros de altura y un centímetro cuadrado de base pesa 1.033 Kilopondios (kilogramos peso) Debido a que a menor altura se encuentra una mayor cantidad de aire, del mismo modo la presión es mayor a nivel del mar y menor conforme se aumenta la altura, sin embargo esta relación entre presión y altura no es lineal como en el caso de la temperatura, sino que disminuye más rápidamente en las capas bajas que en las altas.

Tabla 2. Variaciones de la Presión Atmosférica en función de la Altitud

Altitud msnm	Presión atmosférica	
	mm Hg	hPa
-500	806.15	1,074.78
0	760.00	1,013.25
500	716.02	954.61
1000	674.13	898.77
1500	634.25	845.60
2000	596.31	795.01
2500	560.23	746.91
3000	525.95	701.21
3500	493.39	657.80
4000	462.49	616.60
4500	433.18	577.53
5000	405.40	540.49

La presión está relacionada también con la temperatura, es decir que ésta determina el comportamiento térmico de algunos fenómenos tales como el cambio de fase o estado de los materiales; por ejemplo, el punto de ebullición del agua disminuye conforme la presión decrece.

La presión atmosférica media a nivel del mar es igual a 1.033 Kp/cm^2 , lo cual equivale a 760 mm de mercurio o a 1013.25 milibares.

4.1.1.2 LA HIDROSFERA

La Hidrosfera es la esfera geográfica que incluye a todos los estados del agua: gaseoso, líquido y sólido, es decir que incluye al agua contenida en la atmósfera, en la tierra y también al agua salada de los océanos.

Tabla 3. Distribución de los recursos acuíferos mundiales estimados⁴⁴

Ubicación	Área superficial (Km ²)	Volumen de agua (Km ³)	Porcentaje (%)
Agua superficial			
lagos de agua dulce	855,100	125,100	0.009%
lagos de agua salada	699,700	104,300	0.008%
ríos, arroyos		1,300	0.0001%
Agua subterránea			
Agua subterráneas < 0.8 Km. Prof.	129,565,000	4,171,400	0.307%
Agua subterráneas > 0.8 Km. Prof.	129,565,000	4,171,400	0.307%
Humedad del suelo	129,565,000	66,700	0.005%
Hielo y glaciares	17,880,000	29,199,700	2.147%
Atmósfera	510,486,000	12,900	0.001%
Océanos	361,486,000	1,322,330,600	97.217%
Total		1,360,183,400	100.000%

⁴⁴ Bras, Rafael. L. *Hydrology, An Introduction to Hydrologic Science*. Addison-Wesley Publishing Co. New York, USA. 1990.

Almacenamiento del agua global de la Hidrosfera

Se estima que el 97.2% del volumen total de agua se encuentra contenida en los mares (aproximadamente 1,322 millones de Km^3), el 2.15% se localiza en estado sólido en las zonas polares y el 0.65% restante en forma de agua líquida en la tierra y en vapor de agua en la atmósfera.

Ciclo hidrológico y balance global de agua

El agua del océano, atmósfera y tierra se mueve continuamente en una serie de intercambios, tanto de posición geográfica como de estado físico, fenómeno que se conoce como ciclo hidrológico.

La evaporación total anual del océano está estimada en 455 mil Km^3 , mientras que la de la tierra firme en 62 mil Km^3 , por lo tanto la evaporación total es de 517 mil Km^3 , misma cantidad que deberá precipitarse anualmente, bien sea en estado líquido o sólido. De la cantidad de agua evaporada se precipitan 409 mil Km^3 sobre el océano, mientras que la tierra recibe 108 mil Km^3 ; puede apreciarse que 46 mil Km^3 de agua evaporada del mar se desplaza hacia las zonas continentales, pero evidentemente para establecerse un equilibrio, esta misma cantidad de agua es la que regresa al océano en forma de escurrimientos o afluentes, ya sean superficiales o subterráneos.

La Hidrosfera juega un papel ambiental y climático muy importante, ya que por un lado la enorme masa de agua marina almacena grandes cantidades de calor, el cual es ganado o perdido lentamente debido a la capacidad calorífica del agua. De tal forma el océano es un gran regulador térmico planetario, además de ser el principal abastecedor de vapor a la atmósfera. Por otro lado, a pesar de que el vapor de agua contenido en la atmósfera es muy pequeño, es muy importante dentro de los procesos térmicos, además de ser la principal fuente de agua dulce de la Tierra.

4.1.1.3 LA LITOSFERA

Las regiones ambientales del planeta dependen de su distribución sobre la configuración de la corteza terrestre, determinada por los procesos geológicos; procesos que son generados por la energía contenida en el interior de la Tierra.

La Tierra es un cuerpo de forma casi esférica, con un radio aproximado de 6,378 Km. En el centro se encuentra el *coro*, zona esférica de 3,488 Km. de radio. Se piensa que el coro está formado principalmente por hierro y níquel en estado líquido en la parte externa (coro exterior) y probablemente sólido en el interior (coro interior), aproximadamente en los primeros 1,228 Km. de radio; la temperatura en el coro se estima entre 2,200 y 2,750 °C con una presión entre 3 y 4 millones de veces más alta que la presión atmosférica a nivel del mar.

Entre el coro y el manto se encuentra la capa D'', la cual generalmente se identifica como parte del manto interior⁴⁵. Enseguida se encuentra una capa llamada «*manto*» con un espesor aproximado de 2,880 Km. El manto inferior está compuesto probablemente de silicón, magnesio y oxígeno además de hierro, calcio y aluminio, quizá en estado sólido. Mientras que el manto superior se compone de material mineral (olivino $(Mg,Fe)_2SiO_4$ y piroxeno $(Mg,Fe)SiO_3$) formando una capa blanda en la cual las rocas están a punto de fundición. En términos geológicos esta capa es llamada Astenosfera y se extiende hasta 390 Km. de profundidad. El manto inferior y exterior se encuentran divididos por una capa de transición, la cual es la fuente del magma basáltico, compuesto por calcio, aluminio y silicatos.

La capa de roca exterior es llamada Litosfera y comprende a la «*corteza terrestre*» o capa superficial con un espesor variable entre 5 y 10 Km. en el fondo del mar y 40 Km en las zonas continentales. Esta capa está formada principalmente por rocas ígneas o metamórficas.

La Litosfera no es una unidad continua, sino que está formada por grandes fragmentos llamados «*platos litosféricos*» que tienen la capacidad de moverse independientemente sobre la Astenósfera.

⁴⁵ Hamilton, Rosanna. *Earth's Interior and plates Tectonics*. <http://www.solarviews.com/eng/earthint.htm>

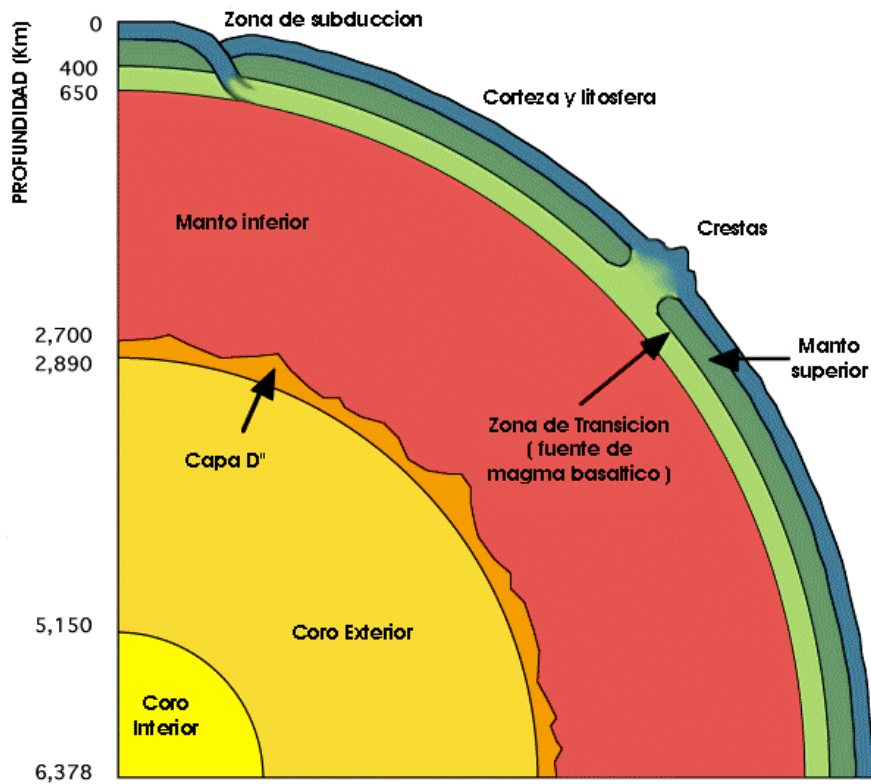


Tabla 4. Capas Terrestres⁴⁶

Capa	% masa (aprox)		profundidad (km)	espesor (km)	
	Total	Manto-corteza			
Corteza continental	0.37	0.55	0 - 40*	40*	50
Corteza oceánica	0.10	0.15	0 - 10	10	
Manto superior	10.30	15.26	10 - 400	390	2,880
Región de transición	7.50	11.11	400 - 650	250	
Manto inferior	46.23	68.49	650 - 2,700	2,050	
Capa D''	3.00	4.44	2,700 - 2,890	190	3,488
Coro exterior	30.80		2,890 - 5,150	2,260	
Coro Interior	1.70		5,150 - 6,378	1,228	
	100.00	100.00		6,378	

* La corteza continental se mide como elevación y las demás capas como profundidades a partir del nivel del mar

⁴⁶ Ibid. Hamilton, Rosanna. *Earth's Interior and plates Tectonics*.

Materiales de la corteza terrestre.

El elemento más abundante en la corteza terrestre es el oxígeno (O) llegando a 46.6%, casi la mitad del peso de la corteza, ya que es el oxígeno el principal elemento en las sustancias orgánicas. Enseguida está el silicón, después el aluminio y hierro; calcio, sodio, potasio y magnesio, la mayoría como nutrientes para las plantas y en menor cantidad les siguen el titanio, hidrógeno, fósforo y bario.

Tabla 5. Composición de la corteza terrestre* ⁴⁷

Elemento	% Peso	% Atómico	% Volúmen
O	46.60	62.55	~94
Si	27.72	21.22	~6
Al	8.13	6.47	
Fe	5.00	1.92	
Ca	3.63	1.94	
Na	2.83	2.34	
K	2.59	1.42	
Mg	2.09	1.84	
Total	98.59	99.7	~100

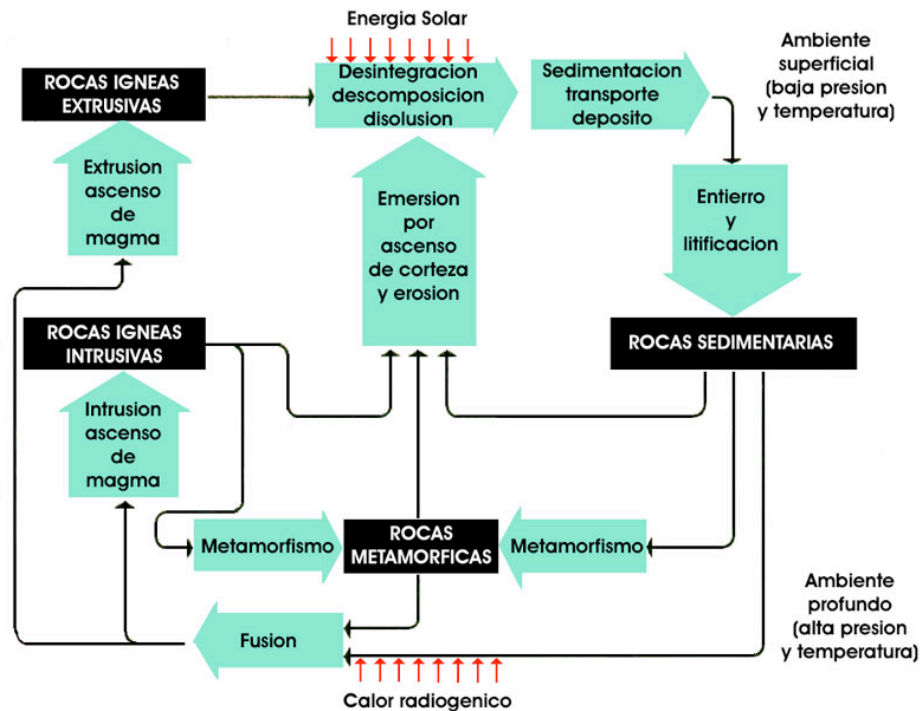
* Sus 8 principales componentes

Existe una gran variedad de minerales junto con un gran número de sus combinaciones en las *rocas*, las cuales se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Rocas Ígneas, material mineral solidificado a altas temperaturas y proveniente del magma.
- Rocas Sedimentarias, acumulación de partículas minerales proveniente de rocas preexistentes.
- Rocas Metamórficas, rocas ígneas o sedimentarias física o químicamente cambiadas por la aplicación de calor o alta presión durante eventos geológicos.

En términos generales, la corteza terrestre se compone en un 95% de rocas ígneas y metamórficas; un 4% de pizarra, 0.75% de arenisca y el 0.25% de caliza.

⁴⁷ Ibid. Hamilton, Rosanna. *Earth's Interior and plates Tectonics*.

Ciclo de la transformación de las rocas⁴⁸

4.1.1.4 LA BIOSFERA

Todos los organismos vivos de la tierra, junto con los ambientes con los cuales interactúan, constituye la biosfera. La ecología es la ciencia que se encarga del estudio de todas estas interacciones, entendidas como formas de intercambio de materia, energía y estímulos de diversas clase. De tal forma el conjunto de componentes que participan dentro de la interacción de un grupo de organismos se conoce como un sistema ecológico o simplemente ecosistema.

Los organismos de la biosfera pueden dividirse en productores, consumidores o descompositores, el producto de las interrelaciones múltiples entre estos tres tipos de organismos entre sí, y con las demás esferas geográficas, se transforma y se desplaza en ciclos o flujos de materia y energía. Dentro de los principales flujos naturales de los ecosistemas se pueden destacar los siguientes:

⁴⁸ Strahler, Arthur. Modern Physical Geography. John Wiley & Sons. New York. USA. 1983. p205

Ciclo del Carbono

El ciclo del carbono es sumamente importante debido a que todos los organismos están formados, de una forma u otra, de carbono. No obstante, la mayor cantidad de carbono está ubicada en el interior de la tierra como sedimentos de carbonato.

En la parte gaseosa de este ciclo, el carbono se mueve en forma de dióxido de carbono (CO_2), bien sea como un gas libre en la atmósfera o disuelto en el agua, tanto en la dulce de la tierra, como en la salada de los océanos. En la parte sólida o sedimentaria del ciclo, el carbono se encuentra como carbohidratos en la materia orgánica o como hidrocarburos en el subsuelo y como carbonato mineral en las rocas, por ejemplo, carbonato de calcio (CaCO_3)

El dióxido de carbono atmosférico a escala global constituye alrededor del 2% y es aportado básicamente por los procesos respiratorios de las plantas y animales de la tierra y los océanos. De manera natural ingresa a la atmósfera más carbono debido a la emanación de gases volcánicos y de manera artificial debido a los procesos industriales y a través de la combustión de energéticos fósiles en forma de monóxido de carbono. Este incremento provocado por el hombre está siendo significativo y probablemente está provocando alteraciones climáticas globales y a escala local.

Ciclo del Oxígeno

El ciclo de oxígeno esta directamente relacionado con el carbono, como se vio anteriormente, ya que una componente del monóxido y dióxido de carbono es oxígeno, sin embargo cabe destacar que la principal aportación de oxígeno a la atmósfera se da por el proceso de fotosíntesis de las plantas, tanto terrestres como acuáticas. Además hay que considerar el oxígeno asociado al agua dentro del ciclo hidrológico visto con anterioridad.

En este caso la actividad humana esta provocando una disminución de la cantidad global de oxígeno debido a combustión de hidrocarburos, a la limpieza y drenado de los suelos, lo cual provoca una mayor oxidación, y debido a la reducción de la fotosíntesis debido a la deforestación, desertificación y pavimentación en áreas urbanas.

Ciclo del nitrógeno

La atmósfera contiene el 78 % del volumen de Nitrógeno, sin embargo el nitrógeno en forma de N_2 no puede ser asimilado directamente por las plantas ni los animales, solamente ciertas plantas como las leguminosas y algunos microorganismos, poseen la habilidad de procesar directamente el N_2 , este proceso se denomina «fijación del Nitrógeno», del mismo modo existen ciertas bacterias que de manera inversa procesan el nitrógeno de las rocas sedimentarias en N_2 y lo reintegran a la atmósfera, este proceso se denomina «desnitrificación»

En la actualidad la fijación es mucho mayor a la desnitrificación, esto se debe principalmente a la actividad humana; por la extensión de los cultivos de legumbres, por la fijación que se da en los fertilizantes de nitrógeno, y por los procesos de combustión.

Ciclos sedimentarios

Los ciclos del carbón, oxígeno y nitrógeno, se clasifican como ciclos gaseosos ya que estos elementos en fase gaseosa, se presentan de manera significativa en la atmósfera; sin embargo hay otros ciclos de tipo sedimentario que se dan de la tierra al mar a través de los escurrimientos y afluentes y que regresan a la tierra, después de miles de años, convertidos en rocas sedimentarias.

Organismos y medio ambiente

Existen varios factores físicos que influyen en las plantas y animales y determinan sus patrones de distribución. Sin duda alguna los principales son los factores climáticos y la disponibilidad de agua. El agua es quizá el factor más importante que determina el patrón global de distribución de las especies, ya que a través de su evolución, plantas y animales han tenido que adaptarse a la disponibilidad de agua, la cual es determinada, en un lugar y momento dados, por el balance entre la precipitación, evaporación, escurrimientos e infiltración, sin embargo este balance también es afectado por los organismos, principalmente por la cobertura vegetal ya que las plantas, a través de la transpiración, regresan a la atmósfera el agua del superficial. Además las plantas reducen los escurrimientos e incrementan la infiltración.

Los factores climáticos son también muy importantes para el desarrollo y distribución de las especies; la temperatura del aire y del suelo, la insolación, luz, viento, etc. actúan directamente sobre los organismos influyendo en los procesos fisiológicos.

Existen muchas especies animales capaces de modificar parcialmente su entorno inmediato con el fin de atenuar o mejorar las condiciones climáticas, de esta forma construyen “viviendas”, represas, etc., pero pocas veces provocan alteraciones significativas a los ecosistemas locales. Por el contrario, el hombre tiene una gran capacidad de modificar su entorno y es, de hecho, uno de los principales agentes desestabilizadores de los ecosistemas locales e incluso generales; Su desarrollo lo ha basado hasta la fecha en una explotación irracional y desmedida de los recursos alterando los flujos naturales de materia y energía; afortunadamente empieza a reflexionar y a darse cuenta que su desarrollo depende de las potencialidades que le brinda la naturaleza y de los límites que ésta tiene; empieza a ver a su medio ambiente y al clima, no como algo que se domina, sino algo a lo que se debe integrar y utilizar racionalmente.

4.3 FACTORES DETERMINANTES DEL CLIMA

Los elementos del clima, o meteoros climáticos son originados o determinados por diversos factores, los cuales pueden ser divididos en dos tipos: factores, naturales o factores artificiales.

4.3.1 Factores Naturales

Los factores naturales determinantes del clima son de dos tipos: los astronómicos, y los geográficos. Los primeros se refieren principalmente a todos aquellos relacionados con el Sol, sin embargo también interviene la Luna y los meteoritos. La Luna, por su atracción gravitacional y como generador de las mareas. Los meteoritos como polvo cósmico y núcleos higroscópicos en la atmósfera (o como elemento catastrófico de gran impacto climático) Se estima que la masa total de la materia meteórica caída diariamente sobre la Tierra es de 5 a 6 ton; Lo que representa aproximadamente 4 gr por kilómetro cuadrado al año. El 90 % del total de los meteoritos pesa menos de 1 gr; mientras que el 70 % consiste en partículas menores a un decigramo.

4.3.1.1. Factores Astronómicos

EL SOL

Debido que el Sol es el generador de la vida y del clima, empezaremos por describir los elementos más importantes de este astro y su relación con la Tierra

El Sol es la estrella más próxima y el centro de nuestro sistema solar planetario. Tiene una edad estimada en por lo menos 4,600 millones de años. El Sol es una esfera gaseosa formada principalmente por Hidrógeno y Helio (73.46 % de Hidrógeno, 24.85 % de Helio y el restante 1.69 % de otros elementos) que gira sobre su propio eje completando un periodo de rotación cada 26.8 días (ecuatorial)⁸⁴ con una velocidad de 2 Km/s y se traslada a un punto llamado Apex ⁸⁵ en la constelación de Hércules a una velocidad aproximada de 20 Km/s

⁸⁴ Pérez P. Jorge, “*El Sol Nuestra Estrella*”, Información Científica y Tecnológica, Instituto de Geografía de la U.N.A.M. mayo 1984 Vol. 6 No. 92, México, DF. 1984.

⁸⁵ Bertrán de Q. Miguel. *El Sol en la Mano*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF. 1937.

La energía solar es obtenida en el núcleo basándose en la fusión nuclear del Hidrógeno. Se requieren cuatro átomos de Hidrógeno para formar un átomo de Helio, en ésta transformación el 0.7 % de la masa de un núcleo de Hidrógeno se convierte en energía radiante, es decir, que si la reacción termonuclear convierte unos 564 millones de toneladas de Hidrógeno en 560 de Helio cada segundo, aproximadamente 4.0 millones de toneladas son convertidas en energía radiante⁸⁶, lográndose temperaturas en el Coro o núcleo solar de 15×10^6 °K. (millones de grados Kelvin) Se estima que la cantidad de Hidrógeno disponible terminará por agotarse dentro de 5 o 6 mil millones de años.

Algunos fenómenos solares, como la granulación y espículas, son resultado de una actividad regular, sin embargo, existen otros fenómenos, como las manchas solares que se presentan por actividad intermitente. Esta periodicidad se manifiesta aproximadamente cada 11.2 años. Este incremento en la actividad solar genera un mayor número de explosiones y por lo tanto una mayor descarga de radiación, principalmente de rayos X y UV, así como de protones y electrones. Todos estos rayos son nocivos para la vida terrestre, sin embargo, la Tierra cuenta con “escudos protectores que evitan que estas descargas lleguen directamente a la superficie, éstos son, principalmente la capa de ozono situada en la estratosfera, la ionosfera y la magnetosfera..

LA TIERRA EN RELACIÓN CON EL SOL

La Tierra tiene varios movimientos, pero sólo dos de ellos son significativos; El primero es el movimiento de translación orbital alrededor del Sol que transcurre en un año solar de 365d 5h 48m 45s con una velocidad de desplazamiento de unos 29 Km/s. El segundo es el movimiento de rotación que transcurre en un día sideral de 23h 56m 4s a una velocidad de 432 m/s

Como ya se mencionó anteriormente, el plano que contiene a la órbita terrestre se denomina PLANO DE LA ECLÍPTICA, este plano forma un ángulo de $23^{\circ} 26' 21''$.4 ($23^{\circ}27'$) con respecto al ecuador terrestre y de $66^{\circ} 33' 38''$.6 ($66^{\circ}33'$) con respecto al eje de rotación.

⁸⁶ Leyva C. Armando. “*Principios Físicos de la Radiación Solar*”, Memorias del curso de actualización en Energía Solar 1986. Laboratorio de Energía Solar del I.I.M. de la U.N.A.M., Temixco, Morelos, México 1986.

Debido a que la inclinación del eje de rotación siempre es paralelo a sí mismo a lo largo de su desplazamiento orbital, los rayos solares inciden perpendicularmente sobre la superficie terrestre en un punto distinto cada día del año. El ángulo de máxima declinación positiva, es decir, el ángulo máximo que se da en el hemisferio norte entre el rayo solar y el ecuador es de $+23^{\circ}27'$ y se presenta el día 21 de junio; a esta fecha se le conoce como SOLSTICIO DE VERANO, mientras que a la latitud geográfica en este punto se le conoce como TRÓPICO DE CÁNCER.

Nótese que en esta fecha el polo norte recibe los rayos solares, mientras que el polo sur está en oscuridad. El ángulo de máxima declinación negativa, es decir, el ángulo máximo que se da en el hemisferio sur entre el rayo solar y el ecuador es de $-23^{\circ}27'$ y se presenta el día 21 de diciembre; a esta fecha se le conoce como SOLSTICIO DE INVIERNO mientras que a la latitud geográfica en este punto se le conoce como TRÓPICO DE CAPRICORNIO. En esta fecha el polo sur recibe los rayos solares mientras que el polo norte está en oscuridad.

Existen dos puntos en los cuales los rayos solares inciden perpendicularmente sobre el ecuador, es decir con una declinación igual a 0° ; el primero se presenta el 21 de marzo y se conoce con el nombre de EQUINOCCIO DE PRIMAVERA. El segundo se da el 23 de septiembre y se conoce como EQUINOCCIO DE OTOÑO.

Son éstas variaciones del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie terrestre las que determinan las distintas duraciones del día y la noche a lo largo del año, un calentamiento no uniforme de la superficie terrestre con altas diferencias de presión que originan desplazamientos atmosféricos compensatorios (el viento). Determinan también a las estaciones, a todos los factores ambientales naturales y a la vida misma.

RADIACIÓN SOLAR

La energía solar llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética extendiéndose desde los rayos ultravioleta, de 200 nm de longitud de onda, hasta ondas infrarrojas de 3,000 nm de longitud; sin embargo el máximo de radiación se da a los 500 nm. (un nanómetro nm = $1 \text{ E}-09 \text{ m}$)⁸⁷, la cual se encuentra dentro del rango visible del espectro de radiación electromagnética. (Cabe señalar que la radiación que emite la Tierra se da en los 9,600 nm, es decir dentro de la región infrarroja del espectro.)

⁸⁷ Szokolay, Steve. *Energía Solar y Edificación*, Editorial Blume, Barcelona, España, 1978.

Tabla 21. División aproximada del espectro solar en varias bandas de color y regiones de energía⁸⁸

Color	λ (nm)	Banda de Radiación (W / m ²)	Porcentaje de Isc %
Violeta	390-455	108.85	7.96
Azul	455-492	73.63	5.39
Verde	492-577	160.00	11.70
Amarillo	577-597	35.97	2.63
Naranja	597-622	43.14	3.16
Rojo	622-770	212.82	15.57
Ultravioleta	<390	98.15	7.18
Visible	390-770	634.40	46.41
Infrarrojo	>770	634.40	46.41

Constante Solar (Isc) W/m² = 1,367

La intensidad de la radiación solar que incide sobre una superficie normal a los rayos solares fuera de la atmósfera terrestre a la distancia promedio del Sol a la Tierra (149,597,890 Km una unidad astronómica) es llamada *constante solar* (Isc) Después de muchos estudios se ha llegado a la conclusión de que el valor más probable de la constante solar es 1,367 W/m² (W.M.O. 1981) con un rango de error de $\pm 1.5\%$ ⁸⁹

La mayor parte de las variaciones en la constante solar tienen lugar en la porción de ondas cortas del espectro solar, estas variaciones dependen del grado de actividad solar, ya que aparentemente existe una correlación significativa entre los cambios de la constante y el tamaño, posición y frecuencia de las manchas solares.

⁸⁸ Ajustado de Iqbal, Muhammad. *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press. Toronto, Canada. 1983

⁸⁹ Muhammad Iqbal, *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press. Toronto, Canada, 1983

Las principales variaciones de intensidad de radiación y temperatura del aire que experimentamos en la Tierra son debidas a la naturaleza ligeramente elíptica de nuestra órbita alrededor del Sol y a la inclinación del eje de rotación terrestre con respecto al plano orbital o eclíptico ($23^{\circ} 26' 21'' 4119$). La órbita terrestre, de $973'728,000$ Km, es casi circular (0.01674 de excentricidad)⁹⁰, sin embargo, describe una elipse aparente dentro de la cual el Sol está ligeramente descentrado, de tal forma que la distancia más próxima de la Tierra al Sol, o distancia perihélica, es de 147.054 millones de Km, mientras que la distancia más lejana, o distancia afélica, es de 152.141 millones de Km⁹¹ La distancia media es de $149'597,890$ Km y es llamada Unidad Astronómica, de tal forma que:

$$1 \text{ UA} = 1.496 \times 10^8 \text{ Km}$$

$$\text{distancia perihelica} = 0.983 \text{ UA}$$

$$\text{distancia afélica} = 1.017 \text{ UA}$$

La Tierra pasa actualmente por el punto del perigeo (punto de la órbita a la distancia perihélica) aproximadamente el 1° de enero, y pasa por el apogeo (punto de la órbita a la distancia afélica) el 1° de julio. Debido a que la intensidad de la radiación solar varía inversamente con el cuadrado de la distancia del Sol, por lo tanto, la intensidad de incidencia normal sobre una superficie extraterrestre (I_o) varía de $1,414 \text{ W/m}^2$ el 1° de enero a $1,322 \text{ W/m}^2$ el 1° de julio⁹²

La distancia entre el Sol y la Tierra se puede calcular basándose en la excentricidad de la orbita terrestre (0.01674). Por medio de la fórmula de Spencer⁹³ se puede obtener el factor de corrección de la excentricidad:

$$E_o = (r_o / r)^2 = 1.000110 + 0.034221 \cos \Gamma + 0.001280 \sin \Gamma + 0.000719 \cos 2\Gamma + 0.000077 \sin 2\Gamma$$

donde:

E_o = Factor de corrección de la excentricidad Terrestre

r_o/r = Radio vector de la Tierra

r_o = Distancia media entre el Sol y la Tierra $r_o = 1 \text{ U.A.} = 1.496 \times 10^8 \text{ km.}$

r = Distancia entre el Sol y la Tierra (U.A)

⁹⁰ Bertrán de Q. Miguel, Op. cit.

⁹¹ Muhammad Iqbal, Op. cit.

⁹² ASHRAE HANDBOOK *Fundamentals* 1993. Atlanta, USA, 1993

⁹³ Iqbal. *ibid.* p 3

Γ = Ángulo diario $\Gamma = 2 \pi (d_n - 1) / 365$ (radianes)

d_n = Número del día del año

De tal forma la distancia r se encuentra por:

$$r = 1 / (E_o)^{1/2}$$

Mientras que la intensidad de la radiación Solar extraterrestre será:

$$I_o = I_{cs} * 1 / r^2$$

$$I_o = I_{cs} * E_o$$

De esta cantidad de radiación sólo una parte llega a la superficie terrestre; su magnitud estará determinada por el espesor de la capa atmosférica que debe atravesar; recordemos que cuando los rayos llegan a la estratosfera ya pasaron por la ionosfera y se encuentran con la capa de ozono, de tal forma, cuando los rayos alcanzan la troposfera, la mayor parte de los rayos X y ultravioleta ya fueron absorbidos.

Además, los rayos tienen que atravesar una capa atmosférica con un cierto grado de “turbiedad”, es decir, una capa con un cierto contenido de vapor de agua, con gotas de agua y cristales de hielo contenidos en la nubosidad, con partículas sólidas en suspensión, dióxido de carbono u otros gases contaminantes. Todos estos elementos se interponen al paso directo de la radiación.

El espesor de la atmósfera que tiene que atravesar los rayos solares se llama masa de aire (m) y depende del ángulo con el que los rayos solares alcanzan a la superficie de la tierra, es decir con respecto al ángulo de altura solar, así como de la composición atmosférica. (a nivel del mar con el Sol en el cenit, $m = 1$, en ausencia de atmósfera $m = 0$). De tal forma, la masa de aire se puede calcular por⁹⁴:

$$m = \text{cosec } h * (p / p_a)$$

donde:

m = masa de aire

⁹⁴ ASHRAE 1993. ibid p 27.10

h = altura solar (grados)

p = presión atmosférica local (kPa)

p = presión atmosférica a nivel del mar (101.325 kPa)

A nivel del mar la masa de aire media en la latitud 40° N es aproximadamente, $m = 1.45$; y en la latitud 20° N, $m = 1.12$

La fórmula anterior está muy simplificada, ya que no toma en cuenta la curvatura de la Tierra ni la refracción de la atmósfera. Para cálculos más precisos deberá usarse la formula de la masa de aire óptica relativa (m_a)⁹⁵:

$$m_a = m_r (p / p_a)$$

$$m_r = (\cos \Theta_z + 0.15 (93.885 - \Theta_z)^{-1.253})^{-1}$$

donde:

m_a = Masa de aire óptica relativa

m_r = Masa de aire óptica relativa a nivel del mar

P = Presión atmosférica de la localidad (kPa)

P_a = Presión atmosférica a nivel del mar (101.325 kPa)

Θ_z = Ángulo cenital (grados)

Ya que el ángulo cenital es igual al complemento del ángulo de altura solar con respecto al cenit, $\Theta_z = 90 - h$; entonces la masa de aire óptica relativa puede expresarse también en función del ángulo de altura solar:

$$m_r = (\cos (90- h) + 0.15 (3.885 + h)^{-1.253})^{-1}$$

donde:

h = ángulo de altura solar (grados)

Entre mayor sea la altitud menor la masa de aire. por lo tanto, la fórmula para estimar la masa de aire en función de la altitud es:

$$m_a = (2.0015 (1 - a * 10^{-4})) / (\sin h + (0.003 + \sin^2 h)^{1/2})$$

donde:

⁹⁵ Iqbal. ibid p.99

ma = masa de aire

a = altitud (m)

h = ángulo de altura solar (grados)

Balance de Energía

Energía que entra

En términos generales, de la cantidad de energía que llega a la atmósfera, una parte llega al suelo de manera directa (22%), otra llega al suelo de manera difusa (28%); otra parte de la energía es absorbida por la atmósfera (principalmente por la capa de ozono) y por las nubes (18%). Esto significa que alrededor del 68% de la energía solar es absorbida por el sistema Tierra-atmósfera. El restante 32% es reflejado, ya sea por la misma atmósfera (5%), por las nubes (21%) o por la superficie terrestre (6%). Si consideramos que la constante solar es aproximadamente 2 langleys (ly) (0.1367 W/cm^2), por minuto (donde $1 \text{ ly} = 1 \text{ cal/cm}^2$), y si multiplicamos esta cantidad por el área de la sección transversal de la Tierra, obtendremos que la Tierra intercepta aproximadamente $3.67 \times 10^{21} \text{ cal/día}$ ($2.52 \times 10^{20} \text{ W/día}$). Si esta energía se distribuye uniformemente sobre toda la superficie terrestre, la cantidad recibida por unidad de área (cm^2) será de 263 kly/año (18 kW/año) Esto significa que si la Tierra recibe el 68%, están entrando al año 178,840 ly (12,241 W)

Tabla 22. Balance Global de Radiación. –Radiación entrante-

Radiación solar que entra al sistema	Porcentaje	kly/año
<i>Total arriba de la atmósfera</i>	100	263
Reflexión atmosférica	5	13.2
Reflexión de las nubes	21	55.2
Reflexión de la superficie	6	15.8
<i>Total de pérdidas por reflexión (albedo terrestre)</i>	32	84.2
Absorción por la atmósfera (nubes, ozono, polvo, etc.)	18	47.3
Absorción por Superficie de la Tierra	50	131.5
<i>Total absorbido por el sistema Tierra-atmósfera</i>	68	178.8

Albedo

El grado en que una superficie refleja la energía recibida hacia el espacio es llamado “albedo”, por lo tanto el albedo a nivel planetario se encuentra entre 29% y 34 %. El grado de reflexión depende de la naturaleza, color, rugosidad y estructura molecular de la superficie que es impactada por la energía. El albedo para distintas superficies es enlistado en la siguiente tabla:

Energía terrestre (radiación de onda larga) que sale.

La superficie de la Tierra y los océanos absorben la energía derivada de la insolación y la transforman en calor sensible, sin embargo, este calor “almacenado”, se pierde continuamente a través de radiaciones de onda larga hacia la atmósfera. Este proceso comúnmente se llama radiación terrestre, aunque incluye también la radiación oceánica y de otras masas de agua. La atmósfera también irradia energía de onda larga tanto hacia el suelo como hacia el espacio. La radiación de onda larga continua durante la noche en la ausencia de la radiación solar. En términos porcentuales, la cantidad de energía irradiada por la tierra es de 98%, de la cual 90% es irradiada hacia la atmósfera y el 8% directamente hacia el espacio. Sin embargo la atmósfera reirradia energía de onda larga hacia la Tierra, aproximadamente el 77%, por lo que la radiación neta que sale de la superficie terrestre es de 21%. La ganancia neta de la atmósfera es por lo tanto de 13%.

Balance de radiación atmosférica.

La ganancia atmosférica hasta ahora es de 18% por radiación directa del Sol, más 13% de radiación terrestre; pero hay que agregar dos nuevos factores. El calor acumulado tanto en la tierra como en los océanos, es transferida a la atmósfera también por convección (molecular-turbulento), es decir por los movimientos del aire y el viento que toman calor de la superficie transfiriéndola al aire (9%); este intercambio se da de manera sensible. Otro factor se da en forma de calor latente a través de la evaporación de las masas de agua, principalmente del océano, así como de la transpiración de los vegetales (20%). De esta forma, la energía total que sale de la superficie terrestre es de 50%. La cantidad de energía que absorbe la atmósfera en forma de radiación de onda larga es igual a 60 % mas el 8% que se pierde directamente, es decir 68% el cuál es emitido hacia el espacio.

Tabla 24. Balance Global de Radiación – Radiación saliente-

Radiación de onda larga que sale del sistema	Porcentaje	kly/año
<i>Total de Radiación de onda larga emitida al espacio</i>	100	263
Ganancia por absorción directa de onda corta	18	47.3
Ganancia neta por radiación superficial	13	34.2
Ganancia por convección	9	23.7
Ganancia por calor latente de evaporación	20	52.6
<i>Total de ganancias de la atmósfera</i>	60	157.8
Radiación directa de la superficie al espacio	8	21.0

<i>Total de energía emitida hacia el espacio</i>	<i>68</i>	<i>178.8</i>
--	-----------	--------------

Desde luego, todos los valores expresados anteriormente se refieren al promedio planetario. En realidad los intercambios de energía se dan de manera diferenciada dependiendo de la ubicación geográfica. Un factor importante en este comportamiento es el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la capa atmosférica y sobre la superficie terrestre. Evidentemente la ganancia es mayor cuando los rayos solares inciden de manera perpendicular a la superficie. De esta manera, el balance de energía zonal depende también de la época del año. En términos generales el balance de radiación del sistema Tierra-atmósfera es positivo en las zonas ecuatoriales y hasta alrededor de las latitudes 40°, y es negativo en latitudes superiores, hasta llegar a los polos. Precisamente son estas diferencias o desequilibrios zonales, junto con las diferencias entre las áreas de insolación entre el día y la noche, las que generan el complejo mecanismo meteorológico.

El impacto del hombre en el balance de radiación.

Cabe señalar que el hombre está generando un impacto en el balance global de radiación. Primero por la gran alteración de la superficie terrestre, ya sea por deforestación, campos de cultivo, y urbanización. Estos cambios no sólo modifican el albedo, sino también en la capacidad de absorción de radiación de onda corta y en la emisión de radiación de onda larga.

Por otro lado también los procesos de combustión han alterado la composición atmosférica, en cuanto al dióxido de carbono y partículas sólidas suspendidas, así como otros gases contaminantes que están destruyendo la vital capa de ozono que nos protege de las radiaciones ultravioleta. Todos estos factores están provocando importantes cambios e impactos climáticos a escala global.

Estimación de la Radiación Solar

Como ya se ha mencionad existen muchos factores que afectan la transmitancia atmosférica, es decir a la cantidad de radiación solar que logra atravesar la atmósfera. Entre los factores principales, se encuentran: la capa de ozono, el vapor de agua contenido en el aire, distintas mezclas de gases y aerosoles, partículas suspendidas y desde luego la nubosidad. Existen modelos numéricos que estiman la transmitancia para cada uno de estos factores, sin embargo para fines arquitectónicos no se requiere de una gran exactitud, por lo que los modelos que aquí se presentan son sencillos y fáciles de utilizar.

De acuerdo al ASHRAE, La radiación directa normal (superficial) en un día claro, o intensidad solar, se puede estimar mediante⁹⁶:

$$I_{DN} = A / (\exp (B / \text{sen } h))$$

donde:

- I_{DN} = Radiación solar directa normal (W/m^2)
- A = Radiación solar aparente extraterrestre para $m = 0$ (W/m^2)
- B = Coeficiente de extinción o atenuación atmosférica
- h = Ángulo de altura solar (grados)

La radiación solar directa normal, debe afectarse por un factor o “número de claridad atmosférica” (CN) principalmente en aquellos lugares con atmósfera predominantemente seca o muy húmeda. Para lugares con humedad media CN puede tomarse igual a la unidad $\text{CN} = 1$; de tal forma, $I_n = I_n$ (CN). Además la fórmula está definida para calcular la radiación a nivel del mar. Si este no es el caso, la fórmula completa es:

$$I_{DN} = (\text{CN}) A / (\exp (B / \text{sen } h * (P / P_o)))$$

donde:

- I_{DN} = Radiación solar directa normal (W/m^2)
- A = Radiación solar aparente extraterrestre para $m = 0$ (W/m^2)
- B = Coeficiente de extinción o atenuación atmosférica
- h = Ángulo de altura solar (grados)
- (CN) = Número de claridad atmosférica
- P = Presión atmosférica local (kPa)
- P_o = Presión atmosférica a nivel del mar (kPa)

ASHRAE e Iqbal, dan valores tabulados para los días 21 de cada mes para A y B (ver tabla 25); Si se desea, se pueden estimar el Valor A de manera aproximada mediante la siguiente ecuación:

$$A = I_o (1 - \varepsilon * \cos (\varphi + 77.94))^2 * (0.85)$$

donde:

- A = Radiación Solar Aparente extraterrestre para $m = 0$ (W/m^2)
- I_o = Radiación Solar extraterrestre (W/m^2)
- ε = Excentricidad de la órbita terrestre (aprox. 0.0167)

⁹⁶ ASHRAE 1993, ibid. p 27.11

φ = longitud de la eclíptica

La longitud de la eclíptica se puede calcular mediante:

$$\varphi = 0.9863 (dn - 2.8749) + 1.9137 * \text{sen} (0.9863 (dn - 2.8749)) + 102.06$$

donde:

φ = longitud de la eclíptica (a partir del equinoccio de otoño)

0.9863 = fracción angular de un día (360/365)

dn = número del día del año (de 1 a 365)

el valor de φ debe estar comprendido entre 0° y 360°, si el valor se encuentra fuera de este rango, se debe ajustar restando múltiplos de 360°. De tal manera que: $f = \varphi / 360$; $\varphi = \varphi - 360 * \text{ent}(f)$. donde f = fracción de 360.

El número del día del año (dn) se puede determinar mediante las siguientes ecuaciones:

Si $M = 1$ entonces $dn = d$

Si $M = 2$ entonces $dn = 31 + d$

Si $M > 2$ entonces:

$$dn = \text{ent} (30 M + 0.6 (M-3) - 30.5) + d$$

donde:

dn = número del día del año (de 1 a 365)

M = número del mes (del 3 al 12)

d = número del día del mes (de 1 a 31)

Tabla 25. Valores de Intensidad de Radiación Solar Extraterrestre y datos relacionados

Mes	según ASHRAE				según Iqbal			datos calculados	
	Io	A	B	C	A	B	C	Io	A
	W/m ²	W/m ²	adimensionales		W/m ²	adimensionales		W/m ²	W/m ²
Enero	1,416	1,230	0.142	0.058	1,202	0.141	0.103	1,413	1,242
Febrero	1,401	1,215	0.144	0.060	1,187	0.142	0.104	1,398	1,217
Marzo	1,381	1,186	0.156	0.071	1,164	0.149	0.109	1,378	1,182
Abril	1,356	1,136	0.180	0.097	1,130	0.164	0.120	1,353	1,141
Mayo	1,336	1,104	0.196	0.121	1,106	0.177	0.130	1,334	1,108
Junio	1,326	1,088	0.205	0.134	1,092	0.185	0.137	1,322	1,090
Julio	1,326	1,085	0.207	0.136	1,093	0.186	0.138	1,323	1,091
Agosto	1,338	1,107	0.201	0.122	1,107	0.182	0.134	1,335	1,111
Septiembre	1,359	1,151	0.177	0.092	1,136	0.165	0.121	1,356	1,145

Octubre	1,380	1,192	0.160	0.073	1,136	0.152	0.111	1,380	1,183
Noviembre	1,405	1,221	0.149	0.063	1,190	0.144	0.106	1,402	1,223
Diciembre	1,417	1,233	0.142	0.057	1,204	0.141	0.103	1,414	1,244

valores para el día 21 de cada mes

De esta forma, la Radiación directa sobre un plano horizontal será:

$$I_{DH} = I_{DN} * \text{seno } h$$

donde:

I_{DN} = Radiación solar directa normal (W/m^2)

I_{DH} = Radiación solar directa horizontal (W/m^2)

h = Ángulo de altura solar (grados)

La radiación difusa será:

$$I_d = I_{DN} * C$$

donde:

I_{DN} = Radiación solar directa normal (W/m^2)

I_d = Radiación solar difusa (W/m^2)

C = Factor de cielo difuso (adimensional)

La radiación total es igual a:

$$I = I_d + I_{DN}$$

donde:

I = Radiación Solar Total (W/m^2)

I_{DN} = Radiación solar directa (W/m^2)

I_d = Radiación solar difusa (W/m^2)

Otro método para el cálculo de la radiación solar es el desarrollado por el Ingeniero Manuel de Anda, quien define directamente el valor de I_{DN} . La tabla que se muestra a continuación muestra los datos teóricos de la energía directa recibida al ras del suelo (I_{DN}), como la energía que puede captar un metro cuadrado de superficie teóricamente negra en posición horizontal, suponiendo que el Sol pudiera estar en el cenit en las fechas indicadas y considerando una atmósfera limpia con bajo grado de turbiedad. Se muestran también los valores teóricos de la porción de radiación difusa para las mismas fechas ⁹⁷

⁹⁷ De Anda, Manuel A. *Calculo Térmico*, Asociación Mexicana de empresas del ramo de Instalaciones para la construcción, A.C. México, DF 1981

Tabla 29. Datos teóricos de la energía directa recibida al ras del suelo (I_{DN})

fecha	radiación directa (I_{DN}) (W/m^2)	C = radiación difusa / radiación directa
21 de enero	1067	0.058
21 de febrero	1051	0.060
21 de marzo	1015	0.071
21 de abril	948	0.097
21 de mayo	907	0.121
21 de junio	886	0.134
21 de julio	882	0.136
21 de agosto	905	0.122
21 de septiembre	964	0.092
21 de octubre	1016	0.073
21 de noviembre	1052	0.063
21 de diciembre	1070	0.057

Desde luego este es un valor teórico máximo de la radiación solar directa, a partir del cual se estimará teórico para una posición real del Sol y una ubicación geográfica específica. Esta estimación es válida sólo cuando no se cuenta con información de la radiación solar real a nivel superficial para una localidad dada. De acuerdo a De Anda, la energía radiante incidente (I_{DH}) sobre el suelo o cualquier superficie horizontal se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$I_{DH} = I (\text{sen } h)^{1/3}$$

donde:

I_{DH} = flujo radiante incidente (W/m^2)

I = radiación teórica al ras del suelo (W/m^2)

h = altura solar

Mientras que la radiación solar directa que incide sobre una superficie inclinada o vertical será:

$$I_D = I (\text{sen } h)^{1/3} \cos \Theta$$

donde:

I_D = flujo radiante incidente sobre un plano NO horizontal (W/m^2)

I = radiación teórica al ras del suelo (W/m^2)

Θ = altura de incidencia

Geometría Solar

Para fines prácticos de la geometría solar debemos partir del supuesto movimiento del sol alrededor de la Tierra, de hecho el fenómeno sería idéntico al real, debido al carácter relativo del movimiento de la tierra con respecto al Sol. En éste caso, un observador sobre una superficie plana llamada horizonte, vería el desplazamiento del Sol describiendo órbitas circulares paralelas, a lo largo de todo el año, sobre una esfera transparente denominada bóveda celeste; donde cualquier rayo, sin importar la posición del Sol, estará dirigido hacia el centro de la esfera. Estas trayectorias constituyen lo que se conoce como la RUTA DEL SOL vista por un observador desde la Tierra.

Al punto vertical mas alto de la bóveda celeste imaginaria se le denomina CENIT y al punto equidistante diametralmente opuesto, NADIR.

Para localizar al sol, o a cualquier astro, en la bóveda celeste se emplean las coordenadas llamadas horizontales o celestes, por medio de las cuales se refiere su posición al plano del horizonte y al meridiano del observador, éstas son: ALTURA y ACIMUT.

ALTURA es el ángulo formado por el rayo solar y el plano del horizonte, se mide a partir del plano del horizonte hacia el cenit, de 0° a 90° .

ÁNGULO CENTAL es el ángulo formado entre el rayo solar y el cenit (de 0° a 90°); Este ángulo es complementario del ángulo de altura con respecto a los 90° .

ACIMUT es el ángulo diedro formado por el plano vertical del Sol con el plano del meridiano del observador, dicho en otras palabras, es el ángulo formado por la proyección del rayo solar sobre el horizonte con el eje norte-sur verdadero. En términos de arquitectura bioclimática se mide a partir del sur y puede ir de 0° a 180° hacia el este u oeste, sin embargo en topografía y en el hemisferio sur suele medirse a partir del norte.

Estas dos coordenadas celestes constituyen los datos básicos para cualquier estudio de asoleamiento en el diseño arquitectónico o cualquier otra aplicación en que se precise conocer la posición del Sol en un momento determinado ⁹⁸

⁹⁸ Ferreiro L. Héctor. “*Geometría Solar*” Apuntes de la Universidad Iberoamericana, México, D.F. 1985.

Para precisar la ubicación del Sol para un lugar y tiempo determinados debemos basarnos en la trigonometría esférica y en las coordenadas celestes. El primer paso es determinar la declinación del Sol, es decir el ángulo que se forma entre los rayos solares y el plano de ecuador. Como sabemos, el ángulo diedro que se forma entre el plano de la eclíptica y el plano del ecuador se considera como $23^{\circ} 27'$ (23.45°)⁹⁹, por lo que la máxima declinación positiva es de $+23^{\circ} 27'$ el 21 de junio; mientras que la máxima declinación negativa es de $-23^{\circ} 27'$ el 21 de diciembre; la declinación es igual a $0^{\circ} 00'$ el 21 de marzo y el 22 o 23 de septiembre. La declinación se puede calcular mediante la ecuación de Cooper¹⁰⁰:

$$\delta = 23.45 \text{ sen } (360 (284 + n)/365))$$

donde:

δ = declinación

n = número del día consecutivo del año

Si se desea obtener la declinación con mayor precisión puede utilizarse la ecuación de Spencer¹⁰¹ :

$$\begin{aligned} \delta = & (0.006918 - 0.399912 \cos \Gamma + 0.070257 \text{ sen } \Gamma \\ & - 0.006758 \cos 2\Gamma + 0.000907 \text{ sen } 2\Gamma \\ & - 0.002697 \cos 3\Gamma + 0.00148 \text{ sen } 3\Gamma) (180 / \pi) \end{aligned}$$

donde:

Γ = Ángulo diario $\Gamma = 2 \pi (d_n - 1) / 365$ (radianes)

d_n = número del día del año

π = pi (3.141592654)

La declinación también puede calcularse a partir de la longitud eclíptica por medio de la fórmula:

$$\text{sen } \delta = - \text{sen } 23.45 \text{ sen } \varphi$$

donde:

δ = declinación

φ = Longitud eclíptica

⁹⁹ La oblicuidad media de la eclíptica, la cual varía con el tiempo en función de movimiento terrestre de oscilación, es actualmente $23^{\circ} 26' 21.448''$ Según el anuario del observatorio astronómico nacional 2001.

¹⁰⁰ P.I. Cooper. *The absorption of solar radiation in solar stills*. Sol Energy 12 (3), 333-346 1969) citado en Iqbal, Muhammad. *An introduction to Solar Radiation*. Academic Press. Toronto, Canada. 1983

¹⁰¹ Iqbal, Muhammad. *An introduction to Solar Radiation*. Academic Press. Toronto, Canada. 1983

Las dos coordenadas celestes necesarias para ubicar al Sol son la altura solar y el acimut. La altura solar es el ángulo que forma el rayo solar con el plano del horizonte, por lo que su valor puede estar comprendido entre 0° y 90° ; la altura solar se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\text{sen } h = (\cos \lambda \cos \delta \cos \tau) + (\text{sen } \lambda \text{ sen } \delta)$$

donde:

h = altura solar

λ = latitud

δ = declinación

τ = ángulo horario (donde $15^\circ = 1$ hora); $\tau = (12 - \text{hora}) 15$

Ya que el ángulo cenital es complementario al ángulo de altura, en ángulo cenital es igual a:

$$\cos \theta_z = (\cos \lambda \cos \delta \cos \tau) + (\text{sen } \lambda \text{ sen } \delta)$$

donde:

θ_z = ángulo cenital

De tal forma :

$$\theta_z = 90 - h$$

Acimut es el ángulo que se forma entre la proyección horizontal del rayo solar y el meridiano del lugar (eje norte-sur); se mide a partir del sur y puede tomar valores entre 0° a 180° ya sea hacia el este u oeste. El acimut puede calcularse por medio de la siguiente ecuación:

$$\cos z = (\text{sen } h \text{ sen } \lambda - \text{sen} \delta) / (\cos h \cos \lambda)$$

donde:

z = acimut

δ = declinación

h = altura solar

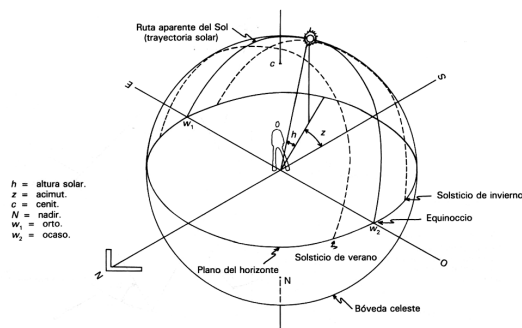


Figura 7. Coordenadas celestes.

Si se desea calcular el acimut a partir del norte se puede utilizar la fórmula:

$$\cos z_n = (\cos \lambda \cdot \sin \delta - \cos \delta \cdot \sin \lambda \cdot \cos \tau) / \cos h$$

donde:

z_n = acimut norte

δ = declinación

h = altura solar

τ = ángulo horario (donde $15^\circ = 1$ hora); $\tau = (12 - \text{hora}) \cdot 15$

o simplemente:

$$z_n = 180 - z$$

Otros datos que es necesario conocer con fines de cálculos térmicos y de insolación es la duración del día, la hora del orto y del ocaso. La duración del día (w) u horas efectivas de insolación se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$w = 2 [\arccos (-\tan \lambda \cdot \tan \delta)]$$

La duración del día esta expresada en ángulo horario, para convertirlo a horas basta dividirlo entre 15. El orto (w_1) y el ocaso (w_2) se calculan mediante las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} w_1 &= \arccos (\tan \lambda \cdot \tan \delta); & \text{horas} &= w_1/15 \\ w_2 &= \arccos (-\tan \lambda \cdot \tan \delta); & \text{horas} &= 12 + (w_2/15) \end{aligned}$$

El acimut para los puntos de orto y ocaso pueden estimarse con la formula de acimut para w_1 y w_2 ; o se pueden calcular directamente mediante:

$$Z_{w_1} = 180 - \arccos (\cos \lambda \cdot \sin \delta + \tan \lambda \cdot \tan \delta \cdot \sin \lambda \cdot \cos \delta)$$

Sol en el cenit

El Sol se encuentra en el cenit cuando el ángulo de altura es igual a 90° ; Esto sucede a las 12 del día y únicamente en lugares que se encuentren en una latitud intertropical, es decir cuando la latitud es igual o menor a $23^\circ 27'$. Cuando la latitud es exactamente la de los trópicos ($23^\circ 27'$) el Sol se encontrará en el cenit a las 12 del día en el solsticio de verano, el 21 de junio. Para latitudes menores, el Sol se encontrará en el cenit dos veces al año, una antes y otra después del solsticio de verano. Para el ecuador, (latitud 0°), el Sol pasará por el cenit en los equinoccios (21 de marzo y 23 de Septiembre). En número de día en el cual el Sol está en el cenit se puede calcular mediante las

fórmulas de altura solar o acimut, igualando $h = 90^\circ$; $z = 0^\circ$ y $\tau = 0^\circ$. También se puede calcular de manera aproximada mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Cenit 1} = 80 + (92/90) \text{ arc seno } (\text{sen } \lambda / \text{sen } 23.45)$$

$$\text{Cenit 2} = 265 - (93/90) \text{ arc seno } (\text{sen } \lambda / \text{sen } 23.45)$$

donde:

80 = Número de día el 21 de marzo

265 = Número de día el 22 de septiembre

92 = Número de días de primavera

93 = Número de días de verano

λ = Latitud del lugar

23.45 = Declinación máxima

Debido a las variaciones en la fecha y hora de entrada y duración de las estaciones las fórmulas pueden presentar un error de ± 1 día.

Cuando se desea conocer la radiación solar incidente sobre una superficie cualquiera, es necesario calcular el ángulo de incidencia (Θ), es decir el ángulo que forma el rayo solar con respecto a la normal de la superficie. Este ángulo se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$\cos \Theta = (\cos h \cos c \text{ sen } s) + (\text{sen } h \cos s)$$

donde:

Θ = ángulo de incidencia

h = altura solar

c = ángulo que forma la proyección horizontal de rayo solar con la proyección horizontal de una línea normal a la superficie (orientación de la superficie)

s = inclinación de la superficie con respecto al plano horizontal

En el caso de tratarse de superficies verticales, el ángulo de inclinación (s) es igual a 90° , por lo que la fórmula se simplifica, quedando como:

$$\cos \Theta = \cos h \cos c$$

El ángulo de incidencia para una superficie horizontal es igual al ángulo cenital, es decir:

$$\Theta = 90 - h$$

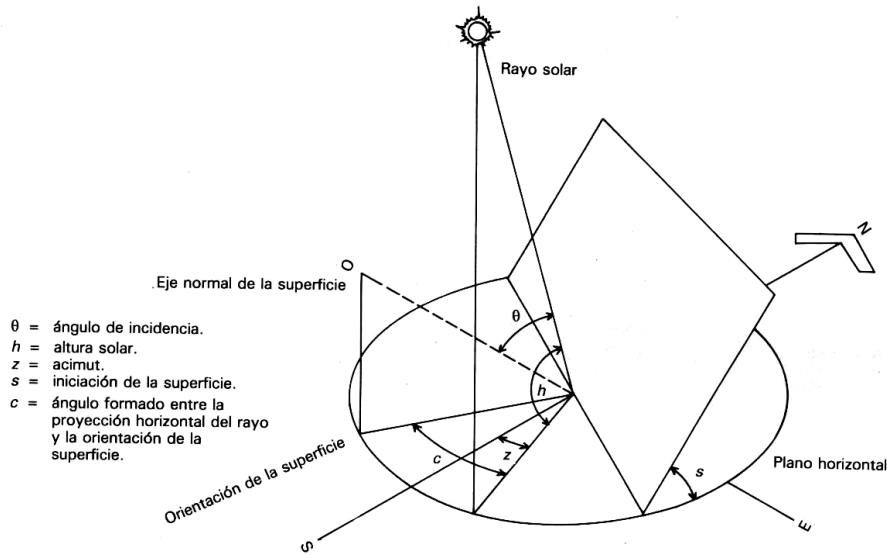


Figura 8. Ángulo de incidencia.

Medición de la radiación solar

Para medir la radiación solar real y no teórica se utilizan los instrumentos llamados actinómetros, piranómetro o solarímetro. Estos instrumentos pueden medir la radiación solar total, la difusa y el albedo. (La radiación total es igual a la suma de la radiación directa más la radiación difusa)

Insolación

La insolación se refiere al número de horas (durante un día, mes o año) en las cuales se presentó radiación solar directa con una intensidad mayor a 120 W/m^2 . Por lo tanto la insolación depende de la nubosidad y desde luego está en función de la duración del día, dependiendo de la época del año.¹⁰²

Medición de la insolación

El instrumento utilizado para medir la insolación es el heliógrafo de Campbell-Stokes, el cual consiste en una esfera de cristal que concentra los rayos solares en un punto donde se encuentra un papel fotosensible graduado; ante la presencia de la radiación solar directa el papel se quemará, dejando una marca a lo largo de la escala graduada que representa el número de horas. Desde luego el instrumento deberá estar debidamente orientado y ajustado a la latitud del lugar.

¹⁰² Valor fijado por la Comisión para instrumentos y métodos de observación de la Organización Meteorológica Mundial. Octava sesión de octubre de 1981.

Tiempo Solar y Tiempo Oficial

el tiempo oficial o civil está dada por la expresión:

$$\text{TIEMPO SOLAR} = \text{TIEMPO OFICIAL} + E + cL$$

donde:

E = Ecuación del tiempo

cL = Corrección por longitud = $4 (L_r - L)$, minutos; o $1/15 (L_r - L)$, horas

L_r = Longitud del meridiano de referencia horaria oficial

L = Longitud del meridiano del lugar

La ecuación del tiempo puede consultarse en el Anuario Astronómico o calcularse de manera aproximada mediante la ecuación de Spencer¹⁰³:

$$Et = (0.000075 + 0.001868 \cos(\Gamma) - 0.032077 \text{ seno}(\Gamma) - 0.014615 \cos(2\Gamma) - 0.04089 \text{ seno}(2\Gamma)) * (229.18)$$

donde:

Et = Ecuación del tiempo (minutos)

Γ es el ángulo diario (en radianes) obtenido por:

$$\Gamma = 2 \pi (dn-1) / 365$$

donde:

dn = es el número de día juliano (1 -365)

¹⁰³ Muhammad Iqbal, Op.cit.

Tabla 31. Meridianos de referencia horaria oficiales en la República Mexicana.¹⁰⁴ (hora legal)

Zona	Localidades	Meridiano de referencia	Meridiano de referencia
		horario de verano	horario normal
1	Quintana Roo	60°	75°
2	Estados del Centro (todos excepto zonas 1, 3, y 4)	75°	90°
3	Baja California Sur, Chihuahua, Nayarit, Sonora, Sinaloa	90°	105°
4	Baja California Norte	105°	120°

El horario de verano inicia el primer domingo de Abril y termina el último domingo de Octubre

Ejemplo:

Calcular la ganancia solar de un muro con orientación sureste ubicado en la Ciudad de México el 15 de abril a las 10 de la mañana (hora solar).

datos:

Latitud = 19.4 °

Longitud = 99.12°

Meridiano de referencia = 90°

Altitud = 2308 msnm

Día consecutivo el 15 de abril

$$d_n = \text{ent} (30 M + 0.6 (M-3) - 30.5) + d$$

$$d_n = \text{ent} (30 (4) + 0.6 (4-3) - 30.5) + 15$$

$$d_n = 105 \text{ (día)}$$

Ángulo diario para el 15 de abril:

$$\Gamma = 2 \pi (d_n - 1) / 365$$

$$\Gamma = 2 \pi (105 - 1) / 365$$

$$\Gamma = 1.79 \text{ (radianes)}$$

¹⁰⁴ Anuario del Observatorio Astronómico Nacional 2001. Instituto de Astronomía, UNAM. México, DF 2001

Excentricidad de la orbita terrestre el 15 de abril (operación en radianes):

$$E_o = (r_o/r)^2 = 1.000110 + 0.034221 \cos \Gamma + 0.001280 \sin \Gamma + 0.000719 \cos 2\Gamma + 0.000077 \sin 2\Gamma$$

$$E_o = (r_o/r)^2 = 1.000110 + 0.034221 \cos(1.79) + 0.001280 \sin(1.79) + 0.000719 \cos 2(1.79) + 0.000077 \sin 2(1.79)$$

$$E_o = (r_o/r)^2 = 0.9932$$

distancia entre el Sol y la Tierra el 15 de abril:

$$r = 1 / (E_o)^{1/2}$$

$$r = 1 / (0.9932)^{1/2}$$

$$r = 1.0034 \text{ UA (unidades astronómicas)}$$

Radiación solar extraterrestre:

$$I_o = I_{cs} * E_o$$

$$I_o = 1,367 * 0.9932$$

$$I_o = 1,357.75 \text{ W/m}^2$$

Cálculos de Geometría Solar:

Declinación solar (según Cooper):

$$\delta = 23.45 \sin (360 (284 + n)/365)) \text{ Cooper}$$

$$\delta = 23.45 \sin (360 (284 + 105)/365))$$

$$\delta = 9.4149 \text{ (grados)}$$

Declinación solar (según Spencer) (operación en radianes):

$$\delta = (0.006918 - 0.399912 \cos \Gamma + 0.070257 \sin \Gamma - 0.006758 \cos 2\Gamma + 0.000907 \sin 2\Gamma - 0.002697 \cos 3\Gamma + 0.00148 \sin 3\Gamma) (180 / \pi)$$

$$\delta = (0.006918 - 0.399912 \cos (1.79) + 0.070257 \sin (1.79) - 0.006758 \cos 2(1.79) + 0.000907 \sin 2(1.79) - 0.002697 \cos 3(1.79) + 0.00148 \sin 3(1.79)) (180 / 3.141592654)$$

$$\delta = 9.48077 \text{ (grados)}$$

Determinación del ángulo horario:

$$\tau = 15 \text{ (12-hora)}$$

$$\tau = 15 \text{ (12-10)}$$

$$\tau = 30 \text{ (grados)}$$

Ángulo de altura solar

$$\begin{aligned}\operatorname{sen} h &= (\cos \lambda \cos \delta \cos \tau) + (\operatorname{sen} \lambda \operatorname{sen} \delta) \\ \operatorname{sen} h &= (\cos 19.4 \cos 9.48 \cos 30) + (\operatorname{sen} 19.4 \operatorname{sen} 9.48) \\ \operatorname{sen} h &= 0.860407 \\ h &= 59.36 \text{ (grados)}\end{aligned}$$

Ángulo Cenital:

$$\begin{aligned}\cos \theta_z &= (\cos \lambda \cos \delta \cos \tau) + (\operatorname{sen} \lambda \operatorname{sen} \delta) \\ \cos \theta_z &= (\cos 19.4 \cos 9.48 \cos 30) + (\operatorname{sen} 19.4 \operatorname{sen} 9.48) \\ \cos \theta_z &= 30.637\end{aligned}$$

O simplemente:

$$\begin{aligned}\theta_z &= 90 - h \\ \theta_z &= 90 - 59.36 \\ \theta_z &= 30.637 \text{ (grados)}\end{aligned}$$

Ángulo de acimut:

$$\begin{aligned}\cos z &= (\operatorname{sen} h \operatorname{sen} \lambda - \operatorname{sen} \delta) / (\cos h \cos \lambda) \\ \cos z &= (\operatorname{sen} 59.36 \operatorname{sen} 19.4 - \operatorname{sen} 9.48) / (\cos 59.36 \cos 19.4) \\ \cos z &= 0.2519 \\ z &= 75.41 \text{ (grados)}\end{aligned}$$

Acimut a partir del norte:

$$\begin{aligned}\cos z_n &= (\cos \lambda \operatorname{sen} \delta - \cos \delta \operatorname{sen} \lambda \cos \tau) / \cos h \\ \cos z_n &= (\cos 19.4 \operatorname{sen} 9.48 - \cos 9.48 \operatorname{sen} 19.4 \cos 30) / \cos 59.36 \\ \cos z_n &= -0.2519 \\ z_n &= 104.59 \text{ (grados)}\end{aligned}$$

o simplemente:

$$\begin{aligned}z_n &= 180 - z \\ z_n &= 180 - 75.41 \\ z_n &= 104.59 \text{ (grados)}\end{aligned}$$

Ángulo de incidencia para un muro vertical con orientación SE (45°): En este caso el ángulo entre el acimut y la orientación de la fachada es:

$$c = z - \text{orientación}$$

$$c = 75.41 - 45$$

$$c = 30.41^\circ$$

$$\cos \Theta = \cos h \cos c$$

$$\cos \Theta = \cos 59.36 \cos 30.41$$

$$\cos \Theta = 0.4395$$

$$\Theta = 63.93^\circ$$

La longitud del día es:

$$w = 2 [\arccos (-\tan \lambda \tan \delta)] / 15$$

$$w = 2 [\arccos (-\tan 19.4 \tan 9.48)] / 15$$

$$w = 12.45 \text{ (horas)}$$

El orto se presenta a las:

$$w_1 = \arccos (\tan \lambda \tan \delta) / 15$$

$$w_1 = \arccos (\tan 19.4 \tan 9.48) / 15$$

$$w_1 = 5.77 \text{ (horas)}$$

$$w_2 = 12 + (-\arccos (-\tan \lambda \tan \delta) / 15)$$

$$w_2 = 12 + (\arccos (-\tan 19.4 \tan 9.48) / 15)$$

$$w_2 = 18.22 \text{ (horas)}$$

El acimut para los puntos de orto y ocaso:

$$Zw1 = 180 - \arccos (\cos \lambda \sin \delta + \tan \lambda \tan \delta \sin \lambda \cos \delta)$$

$$Zw1 = 180 - \arccos (\cos 19.4 \sin 9.48 + \tan 19.4 \tan 9.48 \sin 19.4 \cos 9.48)$$

$$Zw1 = 100.056 \text{ (grados)}$$

Sol en el cenit para esta latitud:

$$\text{Cenit 1} = 80 + (92/90) \arcsen (\sin \lambda / \sin 23.45)$$

$$\text{Cenit 1} = 80 + (1.02222) \arcsen (\sin 19.4 / \sin 23.45)$$

$$\text{Cenit 1} = 138 \text{ (día)}$$

$$\text{Cenit 2} = 265 - (93/90) \arcsen (\sin \lambda / \sin 23.45)$$

$$\text{Cenit 2} = 265 - (93/90) \text{ arc seno (sen } 19.4 / \text{sen } 23.45)$$

$$\text{Cenit 2} = 207$$

Ecuación del tiempo (operación en radianes):

$$Et = (0.000075 + 0.001868 \cos(\Gamma) - 0.032077 \text{ seno}(\Gamma) - 0.014615 \cos(2\Gamma) - 0.04089 \text{ seno}(2\Gamma)) * (229.18)$$

$$Et = (0.000075 + 0.001868 \cos(1.79) - 0.032077 \text{ seno}(1.79) - 0.014615 \cos(2*1.79) - 0.04089 \text{ seno}(2*1.79\Gamma)) * (229.18)$$

$$Et = -0.236 \text{ (minutos)}$$

$$Et = -0.004 \text{ (horas)}$$

Hora oficial o local:

$$\text{TIEMPO SOLAR} = \text{TIEMPO OFICIAL} + Et + cL$$

$$\text{TIEMPO OFICIAL} = \text{TIEMPO SOLAR} - Et - cL$$

Corrección por longitud:

$$cL = 4 (L_r - L)$$

$$cL = 4 (90 - 99.12)$$

$$cL = -36.48 \text{ (minutos)}$$

$$cL = -0.608 \text{ (horas)}$$

$$\text{TIEMPO OFICIAL} = 10 - (-0.004) - (-0.608)$$

$$\text{TIEMPO OFICIAL} = 10.612 \text{ (horas)}$$

$$\text{TIEMPO OFICIAL} = 10:36:43 \text{ (horas: minutos: segundos)}$$

Estimación de la Radiación Solar (ASHRAE):

$$I_{DN} = A / (\exp(B / \text{sen } h))$$

$$I_{DN} = (CN) A / (\exp(B / \text{sen } h * (P / P_o)))$$

$$A = I_o (1 - \varepsilon * \cos(\varphi + 77.94))^2 * (0.85)$$

Longitud de la eclíptica:

$$\varphi = 0.9863 (dn - 2.8749) + 1.9137 * \text{sen}(0.9863 (dn - 2.8749)) + 102.06$$

$$\varphi = 0.9863 (105 - 2.8749) + 1.9137 * \text{sen}(0.9863 (105 - 2.8749)) + 102.06$$

$$\varphi = 204.66$$

Radiación Solar aparente extraterrestre (A)

$$A = I_0 (1 - \varepsilon * \cos(\varphi + 77.94))^2 * (0.85)$$

$$A = 1,357.75 (1 - (0.0167 * \cos(204.66 + 77.94)))^2 * (0.85)$$

$$A = 1,145.69 \text{ W/m}^2$$

Según tabla ASHRAE (abril); $A = 1,136.00 \text{ W/m}^2$

Según tabla Iqbal (abril); $A = 1,130.00 \text{ W/m}^2$

Radiación Solar directa normal:

$$I_{DN} = A / (\exp(B / \text{sen } h))$$

$$I_{DN} = 1,136 / (\exp(0.180 / \text{sen } 59.36))$$

$$I_{DN} = 921.55 \text{ W/m}^2$$

Radiación Solar directa sobre un plano horizontal:

$$I_{DH} = I_{DN} * \text{seno } h$$

$$I_{DH} = 921.55 * \text{seno } 59.36$$

$$I_{DH} = 792.89 \text{ W/m}^2$$

Radiación Solar indirecta:

$$I_d = I_{DN} * C$$

$$I_d = 921.55 * 0.097$$

$$I_d = 89.39 \text{ W/m}^2$$

Radiación Solar total:

$$I = I_d + I_{DN}$$

$$I = 89.39 + 792.89$$

$$I = 882.28 \text{ W/m}^2$$

Radiación sobre el muro con orientación SE (energía radiante incidente):

$$G = I * \cos \Theta$$

$$I = 882.28 \cos 63.93$$

$$I = 387.78 \text{ W/m}^2$$

Cálculo de Radiación según De Anda:

Radiación Solar directa normal:

$$I_{DN} = 948$$

Radiación Solar directa sobre un plano horizontal:

$$I_{DH} = I (\text{sen } h)^{1/3}$$

$$I_{DH} = 948 (\text{sen } 59.36)^{1/3}$$

$$I_{DH} = 901.65$$

Radiación Solar indirecta:

$$I_d = I_{DN} * C$$

$$I_d = 948 * 0.097$$

$$I_d = 91.95 \text{ W/m}^2$$

Radiación Solar total:

$$I = I_d + I_{DN}$$

$$I = 91.95 + 948$$

$$I = 1039.95 \text{ W/m}^2$$

Radiación sobre el muro con orientación SE (energía radiante incidente):

$$G = I_{DN} (\text{sen } h)^{1/3} \cos \Theta$$

$$I = 948 (\text{sen } 59.36)^{1/3} \cos 63.93$$

$$I = 396.25 \text{ W/m}^2$$

4.3.1.1. Factores Geográficos

4.3.1.1.1. De Ubicación

Como se ha mencionado anteriormente, la ubicación geográfica es un factor determinante del clima y de las condiciones meteorológicas de una localidad. . Para localizar un punto sobre la superficie terrestre se emplean las dos coordenadas llamadas geográficas o terrestres: LATITUD, LONGITUD Y ALTITUD.

Latitud

Latitud de un lugar es el ángulo que forma la vertical del lugar con el plano del ecuador, se cuenta de 0° a 90° del ecuador hacia los polos y puede ser positiva o negativa, según que el lugar se encuentre en el hemisferio norte o en el hemisferio sur. La latitud es un factor determinante del clima, ya que esto determinará la mayor o menor incidencia y distribución de la radiación solar.

Longitud

Longitud de un lugar es el ángulo diedro que forman el meridiano que pasa por el lugar con otro meridiano que se toma como origen; se cuenta de 0° a 180° y puede ser oriental u occidental según que el lugar de encuentre al este u oeste del meridiano de origen, o de referencia (Greenwich, Inglaterra).. La longitud no tiene ninguna influencia climática.

Todos los puntos que se encuentran en un mismo paralelo tienen igual latitud; todos los puntos que se encuentran en un mismo semi-meridiano tienen igual longitud ¹⁰⁵

Ya que la circunferencia en el ecuador es de 40,075.02 km,, cada grado de longitud equivale a 111.32 km y cada división meridiana de 10° equivale a 1,113.20 km. Esta longitud , medida en el ecuador, va disminuyendo hasta ser igual a cero en los polos. Usando la trigonometría esférica se puede estimar el radio de cada paralelo y por lo tanto se puede determinar la dimensión de cada

¹⁰⁵ De Hoyos C. Gilberto. Cuadrantes Solares, Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, México, DF. 1985.

grado de longitud en función de la latitud del lugar en estudio. La fórmula para determinarlo es la siguiente:

$$r_{\lambda} = r * \cos \lambda$$

donde:

r_{λ} = Radio en el paralelo de latitud λ

r = Radio Terrestre (ecuatorial)

λ = latitud

Por ejemplo, para la latitud 19.4 el radio del paralelo será igual 6,016.01 Km.; la longitud de la circunferencia es de 37,799.68 Km.; y por lo tanto las dimensión de cada grado de longitud será igual a 105 Km.

Este sencillo cálculo se basa en la trigonometría esférica, es decir que supone una Tierra perfectamente esférica. Como esto no sucede en la realidad, es necesario recurrir a la geodesia¹⁰⁶.

Debido a que la Tierra no es esférica, sino que sufre un aplastamiento en los polos (esferoide o elipsoide de revolución) (el radio ecuatorial es de 6,378,137 m; mientras que el radio polar es de 6,356,752.314 m. con una excentricidad $e = 0.08181919$)¹⁰⁷, existe una diferencia entre la latitud geográfica y la latitud geodésica (también llamada latitud astronómica); siendo la segunda, el ángulo que se forma entre el plano del ecuador y una línea que une el centro de la Tierra y un punto sobre la superficie de la tierra. La latitud geodésica se puede calcular mediante:

$$\tan \lambda' = [0.9933054 + (0.11 \times 10^{-8})] \tan \lambda$$

donde:

λ = latitud geográfica

λ' = latitud geodésica

¹⁰⁶ Ciencia que estudia la forma de la tierra y la medición de sus dimensiones.

¹⁰⁷ Sistema Geodésico de Referencia. INEGI (basado en GRS80 de la Asociación Internacional de Geodesia)

La línea vertical de un lugar no incide con el centro de la Tierra, de tal forma que la diferencia entre las dos latitudes se llama “ desviación de la vertical”. La división de los paralelos terrestres se hace a partir del centro de la Tierra, por lo que coinciden con la latitud geodésica y no con la geográfica.

A partir de la geodesia se puede determinar las dimensiones de cada grado de latitud y longitud en función de la latitud geográfica:

$$1^\circ \text{ latitud} = (111.13297955 - 0.5598 \cos 2 \lambda + 0.0012 \cos 4 \lambda) \text{ km}$$

$$1^\circ \text{ longitud} = (111.4128908 \cos \lambda - 0.0925 \cos 3 \lambda + 0.0001 \cos 5 \lambda) \text{ km}$$

donde:

λ = latitud geográfica

Otro parámetro que puede ser útil en la arquitectura bioclimática es poder determinar la distancia entre dos puntos terrestres. Esto puede ser necesario cuando se hacen análisis comparativos entre distintas ciudades o cuando se hacen estimaciones de datos de una ciudad con respecto a otro punto con otra ubicación geográfica. Esta distancia se puede encontrar mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Distancia entre a y b} = (r \pi/180) * \text{acos}(\text{sen } \lambda_a * \text{sen } \lambda_b + \cos \lambda_a * \cos \lambda_b * \cos(\text{Loa}-\text{Lob}))$$

donde:

r = Radio ecuatorial de la Tierra (6,378.137 Km.)

π = pi (3.141592654)

λ_a = latitud geográfica del punto a

λ_b = latitud geográfica del punto b

Lo_a = longitud geográfica del punto a

Lo_b = longitud geográfica del punto b

Por ejemplo:

Encontrar la distancia entre Chihuahua, Chih. y Ciudad Camargo, Chih.

Datos:

Chihuahua, Chih.: latitud: 28° 38' (28.63); longitud: 106° 52' (106.86)

Ciudad Camargo, Chih.: latitud: 27° 42' (27.7); longitud: 105° 10' (105.16)

Distancia entre a y b = $(r \pi/180) * \text{acos}(\text{sen } \lambda_a * \text{sen } \lambda_b + \text{cos } \lambda_a * \text{cos } \lambda_b * \text{cos}(\text{Loa}-\text{Lob}))$

$$D = (111.3195) * \text{acos}(\text{sen } 28.63 * \text{sen } 27.7 + \text{cos } 28.63 * \text{cos } 27.7 * \text{cos}(106.86-105.16))$$

$$D = 196.34 \text{ Km.}$$

La distancia también puede estimarse por medio de los datos angulares para la latitud media $(28.63+27.7)/2 = 28.165$

$$1^\circ \text{ latitud} = (111.13297955 - 0.5598 \cos 2 \lambda + 0.0012 \cos 4 \lambda) \text{ km}$$

$$1^\circ \text{ latitud} = (111.13297955 - 0.5598 \cos 2 (28.165) + 0.0012 \cos 4(28.165)) \text{ km}$$

$$1^\circ \text{ latitud} = 110.8221592 \text{ Km./grado}$$

$$\text{Distancia vertical} = (28.63 - 27.7) * 110.8221592$$

$$D_v = 103.0646081 \text{ Km}$$

$$1^\circ \text{ longitud} = (111.4128908 \cos \lambda - 0.0925 \cos 3 \lambda + 0.0001 \cos 5 \lambda) \text{ km}$$

$$1^\circ \text{ longitud} = (111.4128908 \cos (28.165) - 0.0925 \cos 3(28.165) + 0.0001 \cos 5(28.165)) \text{ km}$$

$$1^\circ \text{ longitud} = 98.21175664 \text{ Km/grado}$$

$$\text{Distancia horizontal} = (106.86 - 105.16) * 98.21175664$$

$$D_h = 166.9599863 \text{ Km.}$$

$$\text{Distancia a b} = (D_v^2 + D_h^2)^{1/2}$$

$$D = 196.2089459 \text{ Km.}$$

Por trigonometría también se puede estimar la dirección o rumbo entre una ciudad y otra. En este caso:

$$\text{Rumbo} = 180 - (\text{asen } (166.959986/196.21))$$

Rumbo = N 121.68° E

Altitud

La altitud es un factor muy importante del clima, como ya se vio anteriormente. La temperatura del aire disminuye a razón media de 6.4 °C por cada 1000 metros de altitud. Lo cual quiere decir que a mayor altura, menor temperatura en una proporción directa.

La altitud se mide en metros sobre el nivel del mar. Sin embargo, el nivel del mar es muy variable, varía de manera horaria debido a las mareas, y también varía de litoral a litoral. Estas variaciones se deben principalmente al movimiento de rotación terrestre; época del año, latitud, corrientes marinas, presión atmosférica (el aumento de un milibar en la presión atmosférica puede significar una disminución de un centímetro en el nivel del mar), salinidad y densidad del agua, etc.

La Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO, lleva registros del nivel del mar en muchas partes del mundo, de manera genérica a partir del año 1900; aunque cuenta con algunos datos puntuales desde 1806 (Brest, Francia) ¹⁰⁸. A partir de todos estos datos se puede precisar las variaciones en el nivel medio del mar en los distintos océanos y mares del mundo. En México, el encargado de registrar el nivel del mar, tanto en las costas del pacífico como del Golfo y mar caribe, es el Servicio Mareográfico Nacional, del Instituto de Geofísica de la UNAM.

Las variaciones pueden ser de importancia, por ejemplo. La diferencia del nivel del mar entre Veracruz y Acapulco son de apenas 0.10 m; entre Veracruz y Manzanillo, de 1.3 m; pero pueden llegar a presentarse diferencias de más de 10 m. Debido a estas diferencias entre lugar y lugar, la medición de la altitud sobre el nivel del mar se realiza a través de métodos de nivelación geodésica en base a un geoide y elipsoide de referencia (basada en los datos estadísticos del nivel medio del mar) y no por la superficie oceánica local. De esta forma, el nivel medio del mar es el valor medio del nivel del mar extraído de una larga serie de datos o mediciones de una localidad, pero la altitud terrestre se mide en base a un nivel medio del mar definido por la geodesia. El método de nivelación en nuestro país se basa en el “Modelo Geoidal México 97” desarrollado por el INEGI.

¹⁰⁸ Manual on Sea Level Measurement and interpretation. Intergovernmental Oceanographic Commission. UNESCO, 1985.

4.3.1.1.2. Geomorfológicos o de relieve

La orografía se encarga de la descripción del relieve de la Tierra. El relieve es un factor importante desde el punto de vista climático ya que altera o afecta a todos los meteoros climáticos: térmicos, acuosos y dinámicos.

La temperatura se ve afectada de varias maneras. La mas importante es por la insolación, o exposición de la radiación solar diferenciada en las distintas superficies del terreno; ya sean planicies, valles, laderas, cañadas, etc. No solamente por el calor absorbido, sino también por la obstrucción solar debida al mismo relieve y sus distintas orientaciones. Además de los cambios de altitud (elevaciones o depresiones) que ya se han mencionado anteriormente.

El relieve también determina los patrones de humedad, nubosidad y precipitaciones. Desde la misma formación de las nubes, su bloqueo y precipitación; las escorrentías, o estancamientos de masas de agua. (como ríos y lagos) lo cual es significativo desde el punto de vista climatológico.

El relieve también modifica las circulaciones de aire, tanto los patrones de viento, por canalización u obstrucción o propiciando corrientes ascendentes de tipo convectivo. De esta forma también la presión atmosférica se puede ver afectada.

4.3.1.1.3. Pedología o Naturaleza del suelo

Con relación a la naturaleza y composición del suelo existen varios términos relacionados que es conveniente aclarar. Pedología es la ciencia que se encarga del estudio de los suelos, su morfología, características físicas, químicas y biológicas. De esta manera la pedología estudia la composición, estructura, propiedades, orígenes y evolución de los suelos debido a factores geológicos, climáticos y biológicos. Generalmente este estudio se realiza desde la superficie hasta la roca madre.

La Edafología se encarga del estudio físico y químico del suelo y su relación con la biología. El término Edafología comúnmente se usa como sinónimo de Pedología, aunque por definición es más limitada.

Geología es la ciencia que se encarga del estudio de la estructura terrestre, principalmente la corteza, así como la naturaleza y disposición de las rocas que la constituyen. Considerando sus orígenes, evolución y estado actual.

Como puede apreciarse, desde el punto de vista climático es más importante las capas superficiales del suelo que aquellas profundas. La importancia radica en

varios sentidos, primero los factores relacionados con el albedo y absorción de la radiación solar; también todos aquellos factores relacionados con la permeabilidad y retención de humedad; y por último, la cobertura vegetal que los distintos tipos de suelo pueden sostener. Todos estos factores se interrelacionan con todos los elementos climáticos.

4.3.1.1.3. Hidrológicos.

La hidrología es la ciencia encargada del estudio del agua en todas sus formas en cualquier parte de la Tierra; a través de ella se estudia toda la hidrosfera. Toda ella es de suma importancia desde el punto de vista climático. Como ya se ha mencionado, los océanos son los grandes reguladores térmicos del planeta. Al igual que la atmósfera, el calor almacenado en el agua se desplaza a través de las corrientes marinas. Es conocido el efecto que tiene estas corrientes en el clima por ejemplo a través del fenómeno del niño; formado en el océano Pacífico, por corrientes de alta temperatura que se desplazan entre el trópico de capricornio y el ecuador. Los intercambios térmicos y de humedad entre la hidrosfera y la atmósfera son de vital importancia en el comportamiento climático de nuestro planeta; además por su íntima relación con la vegetación.

4.3.1.1.4. Cataclismos y fenómenos especiales

De manera natural, existen fenómenos que pueden alterar las condiciones físicas del entorno y por lo tanto ocasionar cambios climáticos, de manera evidente, los huracanes, tormentas y tornados, de manera eventual como elementos del tiempo. Sin embargo las alteraciones pueden ser de mayor alcance o incluso permanentes. Por ejemplo, una erupción volcánica, el impacto de un asteroide, aludes o terremotos que puedan modificar el relieve, los causes y escorrentías así como grandes masas vegetales.

4.3.2 Factores artificiales

Los factores artificiales que pueden modificar o condicionar el clima son aquellos de tipo antrópico, es decir todas las modificaciones, cambios o alteraciones en cualquiera de las esferas geográficas provocados directa o indirectamente por las actividades humanas.

4.3.1.2. Factores Geográficos

4.3.1.2.1. De Ubicación

La ubicación geográfica de una localidad es determinante de su clima y condiciones meteorológicas. Dicha ubicación se establece mediante las “coordenadas geográficas”: latitud, longitud y altitud.

LATITUD

La latitud geográfica es el ángulo que se forma entre la vertical de un lugar de la superficie terrestre, con el plano del ecuador. Este ángulo es igual al que se forma entre el eje polar (línea norte-sur) con el plano del horizonte de la localidad.

Estrictamente hablando existe una diferencia entre la Latitud geográfica y la Latitud Geodésica o Astronómica. La segunda se define como el ángulo que se forma entre la línea que une un punto terrestre, con el centro de la Tierra, y el plano del ecuador.

La Arquitectura bioclimática y particularmente los estudios de geometría solar se basan en la “astronomía de posición”, por lo que utilizan en sus cálculos la latitud astronómica. La latitud se mide de 0° (ecuador) a 90° (los polos), siendo positiva para el hemisferio norte y negativa para el sur. Esta coordenada de ubicación geográfica es importante desde el punto de vista climático, en función de los ángulos de geometría solar y por lo tanto en la radiación de energía solar que incide en un punto.

Recordemos que debido a la inclinación del eje de rotación de la Tierra con respecto al plano de eclíptica y en función de la translación elíptica, la distancia entre el Sol y la Tierra varía a lo largo de año, y por lo tanto también la cantidad de energía que nos llega. De acuerdo a la declinación, la incidencia perpendicular de los rayos solares igualmente varía día a día.

La radiación solar captada por una superficie es mayor cuando la incidencia es perpendicular, por lo tanto el calentamiento debido a la radiación solar es mayor en las zonas tropicales (Ecuador latitud 0°; Trópico de cáncer latitud + 23° 27'; Trópico de capricornio latitud – 23°27'), donde la incidencia solar si puede ser perpendicular. Entre los trópicos, y los círculos polares, es decir entre las latitudes 23° 27' y 66°33' se presenta asoleamiento durante todo el año, aunque éste no es perpendicular.

Dentro de los círculos polares, es decir, entre las latitudes 66° 33' y 90° existen épocas de año durante las cuales los rayos solares no inciden. Debido a esto, las regiones tropicales se asocian generalmente con los climas cálidos, La región intermedia con los climas templados y las regiones polares con los climas fríos.

LONGITUD

Otra de las coordenadas de ubicación geográfica es la Longitud. La longitud es el ángulo diedro que se forma entre el plano del meridiano del punto terrestre considerado y el plano de un meridiano de referencia; en el caso de la Tierra, el meridiano de referencia adoptado internacionalmente, es el que pasa por el observatorio astronómico de Greenwich, Inglaterra (longitud 0°)

Los meridianos se miden a partir de Greenwich hacia el Este u Oeste adoptando valores entre 0° y 180°. Generalmente son positivos hacia el Este y negativos hacia el oeste. La longitud de un lugar no tiene en sí mismo ninguna influencia en el clima.

Todos los puntos que se encuentran en un mismo paralelo tienen igual latitud; todos los puntos que se encuentran en un mismo semi-meridiano tienen igual longitud ¹⁰⁵

Mediciones de Latitud y Longitud

Ya que la circunferencia en el ecuador es de 40,075.02 Km., cada grado de longitud equivale a 111.32 Km. y cada división meridiana de 10° equivale a 1,113.20 Km. Esta longitud, medida en el ecuador, va disminuyendo hasta ser igual a cero en los polos. Usando la trigonometría esférica se puede estimar el radio de cada paralelo y por lo tanto se puede determinar la dimensión de cada grado de longitud en función de la latitud del lugar en estudio. La fórmula para determinarlo es:

$$r_{\lambda} = r \cos \lambda$$

donde:

r_{λ} = Radio en el paralelo de latitud λ

r = Radio Terrestre (ecuatorial)

λ = Latitud

¹⁰⁵ De Hoyos C. Gilberto. *Cuadrantes Solares*, Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, México, DF. 1985.

Por ejemplo, para la latitud 19.4 el radio del paralelo será igual 6,016.01 Km.; la longitud de la circunferencia es de 37,799.68 Km.; y por lo tanto la dimensión de cada grado de longitud será igual a 105 Km.

Este sencillo cálculo se basa en la trigonometría esférica, es decir que supone una Tierra perfectamente esférica. Como esto no sucede en la realidad, es necesario recurrir a la geodesia¹⁰⁶. Debido a que la Tierra no es esférica, sino que sufre un aplastamiento en los polos (esferoide o elipsoide de revolución) (el radio ecuatorial es de 6,378,137 m; Mientras que el radio polar es de 6,356,752.314 m. con una excentricidad $e = 0.08181919$)¹⁰⁷, existe una diferencia entre la latitud geográfica y la latitud geodésica (también llamada latitud astronómica); Siendo la segunda, el ángulo que se forma entre el plano del ecuador y una línea que une el centro de la Tierra y un punto sobre la superficie de la tierra. La latitud geodésica se puede calcular mediante:

$$\tan \lambda' = [0.9933054 + (0.11 \times 10^{-8})] \tan \lambda$$

donde:

λ = latitud geográfica

λ' = latitud geodésica

La línea vertical de un lugar no incide con el centro de la Tierra, de tal forma que la diferencia entre las dos latitudes se llama “desviación de la vertical”. La división de los paralelos terrestres se hace a partir del centro de la Tierra, por lo que coinciden con la latitud geodésica y no con la geográfica. A partir de la geodesia se puede determinar las dimensiones de cada grado de latitud y longitud en función de la latitud geográfica:

$$1^\circ \text{ latitud} = (111.13297955 - 0.5598 \cos 2 \lambda + 0.0012 \cos 4 \lambda) \text{ km}$$

$$1^\circ \text{ longitud} = (111.4128908 \cos \lambda - 0.0925 \cos 3 \lambda + 0.0001 \cos 5 \lambda) \text{ km}$$

donde:

λ = latitud geográfica

¹⁰⁶ Ciencia que estudia la forma de la tierra y la medición de sus dimensiones.

¹⁰⁷ *Sistema Geodésico de Referencia*. INEGI (basado en GRS80 de la Asociación Internacional de Geodesia)

Otro parámetro que puede ser útil en la arquitectura bioclimática es poder determinar la distancia entre dos puntos terrestres. Esto puede ser necesario cuando se hacen análisis comparativos entre distintas ciudades o cuando se hacen estimaciones de datos de una ciudad con respecto a otro punto con otra ubicación geográfica. Esta distancia se puede encontrar mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Distancia entre a y b} = (r \pi/180) * \text{acos}(\text{sen } \lambda_a * \text{sen } \lambda_b + \text{cos } \lambda_a * \text{cos } \lambda_b * \text{cos}(\text{Loa}-\text{Lob}))$$

donde:

r = Radio ecuatorial de la Tierra (6,378.137 Km.)

π = pi (3.141592654)

λ_a = latitud geográfica del punto a

λ_b = latitud geográfica del punto b

Lo_a = longitud geográfica del punto a

Lo_b = longitud geográfica del punto b

Por ejemplo:

Encontrar la distancia entre Chihuahua, Chih. y Ciudad Camargo, Chih.

Datos:

Chihuahua, Chih.: latitud: 28° 38' (28.63); longitud: 106° 52' (106.86)

Ciudad Camargo, Chih.: latitud: 27° 42' (27.7); longitud: 105° 10' (105.16)

$$\text{Distancia entre a y b} = (r \pi/180) * \text{acos}(\text{sen } \lambda_a * \text{sen } \lambda_b + \text{cos } \lambda_a * \text{cos } \lambda_b * \text{cos}(\text{Loa}-\text{Lob}))$$

$$D = (111.3195) * \text{acos}(\text{sen } 28.63 * \text{sen } 27.7 + \text{cos } 28.63 * \text{cos } 27.7 * \text{cos}(106.86-105.16))$$

$$D = 196.34 \text{ Km.}$$

La distancia también puede estimarse por medio de los datos angulares para la latitud media
(28.63+27.7)/2 = 28.165

$$1^\circ \text{ latitud} = (111.13297955 - 0.5598 \cos 2 \lambda + 0.0012 \cos 4 \lambda) \text{ km}$$

$$1^\circ \text{ latitud} = (111.13297955 - 0.5598 \cos 2 (28.165) + 0.0012 \cos 4(28.165)) \text{ km}$$

$$1^\circ \text{ latitud} = 110.8221592 \text{ Km.}/\text{grado}$$

$$\text{Distancia vertical} = (28.63 - 27.7) * 110.8221592$$

$$D_v = 103.0646081 \text{ Km}$$

$$1^\circ \text{ longitud} = (111.4128908 \cos \lambda - 0.0925 \cos 3 \lambda + 0.0001 \cos 5 \lambda) \text{ km}$$

$$1^\circ \text{ longitud} = (111.4128908 \cos (28.165) - 0.0925 \cos 3(28.165) + 0.0001 \cos 5(28.165)) \text{ km}$$

$$1^\circ \text{ longitud} = 98.21175664 \text{ Km/grado}$$

$$\text{Distancia horizontal} = (106.86 - 105.16) * 98.21175664$$

$$D_h = 166.9599863 \text{ Km.}$$

$$\text{Distancia a b} = (D_v^2 + D_h^2)^{1/2}$$

$$D = 196.2089459 \text{ Km.}$$

Por trigonometría también se puede estimar la dirección o rumbo entre una ciudad y otra. En este caso:

$$\text{Rumbo} = 180 - (\text{asen}(166.959986/196.21))$$

$$\text{Rumbo} = \text{N } 121.68^\circ \text{ E}$$

ALTITUD

Altitud es la dimensión vertical o altura sobre el nivel del mar. La altitud es un factor muy importante del clima, como ya se vio anteriormente. La temperatura del aire disminuye a razón media de 6.4 °C por cada 1000 metros de altitud. Lo cual quiere decir que a mayor altura, menor temperatura en una proporción directa. La altitud se mide en metros sobre el nivel del mar. Sin embargo, el nivel del mar es muy variable, varía de manera horaria debido a las mareas, y también varía de litoral a litoral. Estas variaciones se deben principalmente al movimiento de rotación terrestre; época del año, latitud, corrientes marinas, presión atmosférica (el aumento de un milibar en la presión atmosférica puede significar una disminución de un centímetro en el nivel del mar), salinidad y densidad del agua, etc.

Las variaciones por las mareas son distintas en cada lugar, en el océano Atlántico son de mayor amplitud que en el Pacífico y de diferentes características. Por ejemplo en Mont-Saint-Michel, Francia, la amplitud de las mareas llega a ser de 15.5 m de altura y hasta 17 Km en horizontal; mientras que en el Mediterráneo no alcanzan un metro de altitud¹⁰⁸. Esto se debe a que las mareas suelen ser de poca magnitud en mar abierto o en los mares cerrados. De tal forma, la altitud se refiere al nivel medio del mar, es decir al promedio de mareas medidas a determinadas épocas.

¹⁰⁸ Diccionario Ilustrado de la Ciencia, Ediciones Larousse, México, DF 1988

La Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO, lleva registros del nivel del mar en muchas partes del mundo, de manera genérica a partir del año 1900; aunque cuenta con algunos datos puntuales desde 1806 (Brest, Francia) ¹⁰⁹. A partir de todos estos datos se puede precisar las variaciones en el nivel medio del mar en los distintos océanos y mares del mundo. En México, el encargado de registrar el nivel del mar, tanto en las costas del pacífico como del Golfo y mar caribe, es el Servicio Mareográfico Nacional, del Instituto de Geofísica de la UNAM.

Las variaciones pueden ser de importancia, por ejemplo. La diferencia del nivel del mar entre Veracruz y Acapulco son de apenas 0.10 m; entre Veracruz y Manzanillo, de 1.3 m; pero pueden llegar a presentarse diferencias de más de 10 m. Debido a estas diferencias entre lugar y lugar, la medición de la altitud sobre el nivel del mar se realiza a través de métodos de nivelación geodésica en base a un geoide y elipsoide de referencia (basada en los datos estadísticos del nivel medio del mar) y no por la superficie oceánica local. De esta forma, el nivel medio del mar es el valor medio del nivel del mar extraído de una larga serie de datos o mediciones de una localidad, pero la altitud terrestre se mide con base a un nivel medio del mar definido por la geodesia. El método de nivelación en nuestro país se basa en el “Modelo Geoidal México 97” desarrollado por el INEGI.

4.3.1.2.2. Geomorfológicos o de relieve

La orografía se encarga de la descripción del relieve de la Tierra. El relieve se refiere a la configuración de la superficie terrestre, es decir, el conjunto de accidente o irregularidades que forman salientes (relieve positivo) o entrantes (relieve negativo) El relieve es un factor importante desde el punto de vista climático ya que altera o afecta a todos los meteoros climáticos: Térmicos, acuosos y dinámicos.

La temperatura se ve afectada de varias maneras. La más importante es por la insolación, o exposición de la radiación solar diferenciada en las distintas superficies del terreno; ya sean planicies, valles, laderas, cañadas, etc. No solamente por el calor absorbido, sino también por la obstrucción solar debida al mismo relieve y sus distintas orientaciones. Además de los cambios de altitud (elevaciones o depresiones) que ya se han mencionado anteriormente. El relieve también determina los patrones de humedad, nubosidad y precipitaciones. Desde la misma formación de las

¹⁰⁹ *Manual on Sea Level Measurement and interpretation*. Intergovernmental Oceanographic Commission. UNESCO, 1985.

nubes, su bloqueo y precipitación; las escorrentías, o estancamientos de masas de agua. (como ríos y lagos) lo cual es significativo desde el punto de vista climatológico.

El relieve también modifica las circulaciones de aire, tanto los patrones de viento, por canalización u obstrucción o propiciando corrientes ascendentes de tipo convectivo. De esta forma también la presión atmosférica se puede ver afectada.

4.3.1.2.3. Pedología o Naturaleza del suelo

Con relación a la naturaleza y composición del suelo existen varios términos relacionados que es conveniente aclarar. Pedología es la ciencia que se encarga del estudio de los suelos, su morfología, características físicas, químicas y biológicas. De esta manera la pedología estudia la composición, estructura, propiedades, orígenes y evolución de los suelos debido a factores geológicos, climáticos y biológicos. Generalmente este estudio se realiza desde la superficie hasta la roca madre.

La Edafología se encarga del estudio físico y químico del suelo y su relación con la biología. El término Edafología comúnmente se usa como sinónimo de Pedología, aunque por definición es más limitada. Geología es la ciencia que se encarga del estudio de la estructura terrestre, principalmente la corteza, así como la naturaleza y disposición de las rocas que la constituyen. Considerando sus orígenes, evolución y estado actual. Como puede apreciarse, desde el punto de vista climático es más importante las capas superficiales del suelo que aquellas profundas. La importancia radica en varios sentidos, primero los factores relacionados con el albedo y absorción de la radiación solar; también todos aquellos factores relacionados con la permeabilidad y retención de humedad; y por último, la cobertura vegetal que los distintos tipos de suelo pueden sostener. Todos estos factores se interrelacionan con todos los elementos climáticos.

4.3.1.3. Hidrológicos.

La hidrología es la ciencia encargada del estudio del agua en todas sus formas en cualquier parte de la Tierra; a través de ella se estudia toda la hidrosfera. Toda ella es de suma importancia desde el punto de vista climático. Como ya se ha mencionado, los océanos son los grandes reguladores térmicos del planeta. Los factores hídricos tienen gran importancia para el clima en dos vertientes: las masas de agua continental y los océanos, mares y sus corrientes.

Agua continental.

Las masas de agua son importantes porque, debido a su capacidad calorífica almacenan grandes cantidades de energía, convirtiéndose en reguladores térmicos. Además incrementan la humedad relativa del aire y favorecen la cobertura vegetal.

Agua marítima.

Los océanos y mares son los principales reguladores térmicos y climáticos a escala mundial. Ya que los océanos ocupan tres cuartas partes de la superficie de la Tierra, son los que en mayor medida captan la radiación solar, acumulan la energía y la transfieren a la atmósfera, a través de intercambios de masa y de energía.

La atmósfera, y por lo tanto todos los fenómenos que en ella ocurren, funcionan de manera interrelacionada con los océanos. Al igual que la atmósfera, los océanos están en continuo movimiento. A través de grandes corrientes marítimas planetarias se intercambia la energía calorífica y la humedad. Al igual que el viento, las corrientes marinas tratan de compensar las diferencias de temperatura, tanto las originadas por cambios estacionales, diurnos- nocturnos o de índole regional. La corriente marina está determinada por la rotación de la Tierra, pero en mayor medida por los patrones de circulación del viento (circulación superficial) y por cambios de densidad (circulación profunda). En términos generales, las corrientes marinas giran en sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en sentido inverso en el hemisferio sur. La antártica está rodeada por una circulación en sentido de las manecillas del reloj, originada por las corrientes inversas de los océanos Pacífico, Atlántico e Índico. Esta corriente se conoce como giro antártico.

El océano Pacífico es el más grande y por lo tanto el que mayor influencia climática a escala mundial tiene. En éste océano existe una corriente ecuatorial muy importante, ya que cuando existen alteraciones en su temperatura, se provocan cambios climáticos de gran magnitud a escala planetaria. Este fenómeno se conoce como “El Niño” nombre que hace referencia a la niñez de Jesús, ya que esta corriente inicia generalmente a finales de diciembre.

4.3.1.4. Cataclismos y fenómenos especiales

De manera natural, existen fenómenos que pueden alterar las condiciones físicas del entorno y por lo tanto ocasionar cambios climáticos, de manera evidente, los huracanes, tormentas y tornados, de manera eventual como elementos del tiempo. Sin embargo las alteraciones pueden ser de mayor

alcance o incluso permanentes. Por ejemplo, una erupción volcánica, el impacto de un asteroide , aludes o terremotos que puedan modificar el relieve, los causes y escorrentías así como grandes masas vegetales.

4.3.2 Factores Artificiales

Los factores artificiales que pueden modificar o condicionar el clima son aquellos de tipo antrópico, es decir todas las modificaciones, cambios o alteraciones en cualquiera de las esferas geográficas provocados directa o indirectamente por las actividades humanas. El hombre es el más grande modificador del entorno natural, a través de todas sus actividades el hombre ocasiona impactos y alteraciones ambientales y climáticas, ya sea en los procesos de urbanización, en los agrícolas, industriales, forestales, energéticos, etc. Por ejemplo en la construcción de una presa, la explotación de una mina a cielo abierto, construcción de un aeropuerto, etc.

Aunado a lo anterior se encuentran todos los elementos contaminantes que produce, ya sea en descargas al aire, agua o al suelo. Todos estos elementos provocan alteraciones significativas al ambiente y por lo tanto al clima. Por ejemplo: el smog reduce el paso de la radiación solar, incrementa la temperatura y favorece las inversiones térmicas atmosféricas, ofrece mayores núcleos higroscópicos y propicia el incremento de la precipitación en forma de “lluvia ácida” etc.

El diseño Bioclimático tiene como uno de sus objetivos el de impactar lo menos posible al medio ambiente, por tal motivo, se deben hacer cuidadosos estudios de impacto ambiental en varios niveles para asegurarse que las modificaciones que se harán al entorno, los recursos utilizados y productos generados no afectarán o en su caso lo harán en la menor medida posible.

V

ANÁLISIS CLIMÁTICO

ANÁLISIS CLIMÁTICO

Este capítulo tiene por objetivo el definir una metodología de análisis de la información climatológica. Es muy importante para el diseñador tener una comprensión clara y lo más completa posible del comportamiento de los elementos y factores del clima y tratar de descubrir los patrones que caracterizan al sitio de estudio, de tal forma que todos los elementos ambientales puedan ser aprovechados en el diseño de los espacios, tanto urbanos como arquitectónicos, en beneficio del hombre.

5.1 LOS DATOS CLIMÁTICOS

Primero es necesario ubicar las fuentes de información climatológicas que puedan proporcionar información suficiente, confiable y que corresponda a la zona más próxima y de características similares al sitio del proyecto. En todo caso será necesario verificar la ubicación de esta estación meteorológica. Si existieran condicionantes diferentes a las de sitio de proyecto, deberán hacerse los ajustes o consideraciones pertinentes, o en último caso tomar los datos con cierta reserva.

El primer aspecto que debemos cotejar, es la diferencia de altitud entre la estación meteorológica y nuestro terreno. Recordemos que la altitud es decisiva para el comportamiento térmico; por cada 1000 metros de altitud la temperatura disminuye en 6.4 °C, es decir que una diferencia de 100 metros de altitud entre la estación y el sitio del proyecto significaría una diferencia en temperatura de más de medio grado centígrado.

En seguida habrá que verificar la distancia entre la estación y nuestro terreno, pero sobre todo las características de su ubicación. Por ejemplo, verificar si está enclavada en una zona urbana o rural, si esta influenciada por alguna masa vegetal o de agua, si se encuentra en una cañada, ladera, o al lado opuesto de una montaña, etc., y desde luego contrastando estas características con las propias de nuestro terreno.

En México, el organismo encargado del acopio de la información climatológica nacional (además de proporcionar información sobre el estado del tiempo a escala nacional y local) es Servicio Meteorológico Nacional, que depende de la Comisión Nacional del Agua, la cual forma parte de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) Entre otros objetivos, el Servicio Meteorológico Nacional proporciona al público información meteorológica y

climatológica, realiza estudios climatológicos y meteorológicos y concentra, revisa, depura y ordena la información generando un Banco Nacional de Datos Climatológicos, para consulta pública.¹¹⁵. Este Banco, concentra y archiva información proveniente de las diferentes redes climatológicas del país, Lo que permite contar con el archivo climatológico más importante del país, el cual incluye datos históricos desde fines del siglo pasado hasta la fecha.

El Servicio Meteorológico Nacional cuenta, entre otros, con la siguiente infraestructura de observación:

“Red sinóptica de superficie, integrada por 72 observatorios meteorológicos, cuyas funciones son las de observación y transmisión en tiempo real de la información de las condiciones atmosféricas.

Red sinóptica de altura: Consta de 15 estaciones de radiosondeo, cuya función es la observación de las capas altas de la atmósfera. Cada estación realiza mediciones de presión, temperatura, humedad y viento mediante una sonda que se eleva por medio de un globo dos veces al día.

Red de 12 radares meteorológicos distribuidos en el Territorio Nacional. Esta red comenzó a funcionar en 1993 y proporciona información continua que se recibe en el Servicio Meteorológico Nacional, vía satélite. Los radares permiten detectar la evolución de los sistemas nubosos. Con ello puede conocerse la intensidad de la precipitación (lluvia, granizo o nieve), la altura y densidad de las nubes y su desplazamiento, así como la velocidad y dirección del viento, en un radio máximo de 480 Km alrededor de cada radar. Con la actual red de doce radares se cubre casi en su totalidad el Territorio Nacional.

Estación terrena receptora de imágenes del satélite meteorológico GOES-8; Con esta estación se reciben imágenes cada 30 minutos de cinco diferentes bandas: una visible, tres infrarrojas y una de vapor de agua. Cada imagen cubre la región meteorológica número IV, la cual abarca México, Canadá, Estados Unidos, el Caribe y Centro América. Además, cada tres horas se recibe una imagen visible, otra infrarroja y una de vapor de agua que cubren el total del continente americano.

¹¹⁵ Comisión Nacional del Agua – Servicio Meteorológico Nacional. <http://www.cna.gob.mx/SMN.html>

Las imágenes se utilizan para detectar, identificar y dar seguimiento a los fenómenos meteorológicos severos como tormentas, frentes fríos o huracanes. Por medio de las imágenes también se puede estimar la intensidad de la precipitación. Esta información es utilizada por los meteorólogos en la elaboración de sus pronósticos para cada región del país”¹¹⁶.

En 1982 en Servicio Meteorológico Nacional y la Comisión Nacional de Electricidad contaban con 731 estaciones climatológicas lo que representaba la cuarta parte de la red Meteorológica nacional¹¹⁷, lo que significa que en esa fecha existía una red de 2,924 Estaciones.

Otros organismos a través de los cuales se puede obtener información climatología es la Comisión Nacional de Electricidad, Aeropuertos, Bases o Campos Militares, Centros de investigación o Universidades...

Los observatorios meteorológicos cuentan con instrumentos apropiados para efectuar todas las observaciones fenómenos meteorológicos y climáticos; para las observaciones sinópticas de superficie se toman lecturas a las 6:00, 12:00 y 18:00 hrs., y para fines climatológicos a las 7:00; 14:00 y 21:00 hrs. y algunas veces de manera horaria.

Por su parte las estaciones climatológicas cuentan con instrumentos que proporcionan datos básicos con lecturas tomadas a las 8:00 hrs. Por lo tanto los datos obtenidos en observatorios son más completos y más confiables.

La información que se recibe de los observatorios y estaciones puede ser: puntual, promediada o normalizada. La puntual se refiere a los datos directos tomados en una fecha y hora específica, y que normalmente vienen en los formatos de registro mensual. Los datos promediados, son los que se presentan en los formatos de tarjetas de resumen climatológico mensual; y que resultan de promediar todos los datos diarios del mes. Las normales climatológicas son aquellos que resultan del promedio de 30 años. Además de estos datos registrados, también se pueden obtener datos de pronóstico del tiempo.

¹¹⁶ Comisión Nacional del Agua – Servicio Meteorológico Nacional. <http://www.cna.gob.mx/SMN.html>

¹¹⁷ Normales Climatológicas 1941-1970 Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional, SARH, México, 1982.

En arquitectura generalmente se trabaja con datos Normalizados ya que son éstos los que caracterizan el clima de una localidad y por lo tanto son los que permiten definir estrategias generales de diseño. Sin embargo, los datos puntuales, horarios y de pronóstico se usan también para estudios particulares más detallados. Empezaremos por describir el procesamiento y análisis de los datos normalizados.

ANÁLISIS CLIMÁTICO CON DATOS NORMALIZADOS

El primer paso consiste en tabular y graficar todos los parámetros y datos climáticos disponibles. Si se carece de algunos de ellos, será necesario calcularlos o estimarlos por medio de algoritmos. Esto es importante sobre todo en el caso de los datos de temperatura y humedad, ya que sin ellos no podrían realizarse los análisis psicrométricos ni de confort higro-térmico.

El análisis climático no consiste simplemente en hacer una descripción verbal o escrita de los datos o gráficas de los parámetros climatológicos, en realidad el análisis se da cuando los datos son comparados con otros factores, rangos o valores de referencia, y cuando ellos son evaluados en función de las repercusiones o efectos ya sea sobre el hombre, el medio ambiente o la arquitectura.

Por ello, es necesario definir previamente todos aquellos parámetros, rangos o valores que nos servirá de referencia para poder hacer el análisis correspondiente. Los parámetros que normalmente encontramos en los registros de las normales climatológicas son¹¹⁸:

Temperaturas:

- Temperatura máxima extrema
- Temperatura máxima
- Temperatura de bulbo seco (ambiente) o media
- Temperatura mínima
- Temperatura mínima extrema
- Temperatura mínima a la intemperie
- Oscilación mensual

¹¹⁸ *Normales Climatológicas 1941-1970* Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional, SARH, México, 1982.

Humedad:

- Temperatura de bulbo húmedo
- Humedad Relativa
- Evaporación
- Evaporación total
- Tensión del vapor del agua

Precipitación:

- Total de precipitación
- Precipitación máxima
- Precipitación máxima en 24 horas
- Precipitación máxima en 1 hora
- Precipitación mínima

Insolación:

- Total de horas de insolación

Visibilidad dominante**Fenómenos especiales:**

- Lluvia apreciable
- Lluvia inapreciable
- Nubosidad:
 - Despejado
 - Medio nublado
 - Nublado o cerrado
- Rocío
- Granizo
- Helada
- Tempestad eléctrica

- Niebla
- Nevada

Además de estos parámetros es necesario contar con los datos de:

Radiación solar:

- Radiación total
- Radiación directa
- Radiación difusa

Viento:

- Frecuencia
- Velocidad media
- Velocidad máxima
- Dirección dominante

5.2 ANÁLISIS CLIMÁTICO

Para que el análisis climático sea completo deberá hacerse desde diferentes perspectivas:

- Análisis paramétrico
- Análisis mensual y anual
- Análisis de datos horarios

Para ello nos auxiliaremos en distintos métodos, herramientas y gráficas de análisis para concluir con una caracterización climática y con la definición de estrategias básicas de diseño.

Es conveniente tratar de conseguir todos los datos climatológicos en los observatorios o estaciones meteorológicas, aeropuertos, u otras instituciones que los registren. Únicamente en caso de no contar con ellos se podrán estimar mediante los algoritmos descritos en capítulos anteriores. En todo caso también es conveniente hacer verificaciones, o mediciones en sitio y tratar de encontrar evidencias en el medio o por pláticas con la comunidad que habita en la zona.

Una vez conseguida la información ésta deberá tabularse y graficarse. Las gráficas para el análisis paramétrico pueden ser independientes, sin embargo para el análisis mensual y anual es conveniente que estén vinculadas o alineadas unas con otras, por lo menos para aquellos parámetros que se están analizando.

ANÁLISIS CLIMÁTICO PARAMÉTRICO.

Consiste en analizar uno a uno los distintos parámetros climatológicos.

TEMPERATURA:

Quizá el parámetro más importante y el primero que se analiza es la temperatura. Éste debe analizarse en función de los rangos de confort de la localidad en estudio. La fórmula propuesta por S. Szokolay¹¹⁹ para determinar la temperatura óptima de confort es:

$$T_n = 17.6 * 0.31 T_m$$

donde:

T_n = Temperatura neutra

T_m = Temperatura media

o bien :

$$T_n = 18.9 + 0.255 TE^*$$

donde:

TE^* = Nueva Temperatura Efectiva

La Nueva Temperatura Efectiva es un índice que involucra distintas variables ambientales sobre la sensación de confort térmico. Estas variables son: la temperatura de bulbo seco, la temperatura de bulbo húmedo, la temperatura radiante y la velocidad del viento. La Temperatura efectiva es definida como la temperatura de un aire en calma a 50 % de HR, el cual produciría el mismo intercambio de calor neto por radiación, convección y evaporación que el aire o ambiente analizado. La zona de confort (z_c) convencional cubre un rango de 5 grados, por lo que:

$$z_c = T_n \pm 2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

De esta forma el análisis se hace tomando como referencia este rango y definiendo si la temperatura de cada uno de los meses se encuentra por arriba, dentro, o por debajo de la zona de confort, anotando también el número de meses que se presentan en cada caso. De esta forma se podrá decir cuantos y cuáles meses son fríos, confortables o calurosos.

¹¹⁹ Szokolay, Steven. Auliciems Andris. *Thermal Comfort*. PLEA The University of Queensland, Australia. 1997

Este análisis puede complementarse con la definición de los Días Grado. Se define como días grado a los requerimientos de calentamiento o enfriamiento, en grados centígrados acumulados en un mes, necesarios para entrar en la zona de confort.

Generalmente se incluyen dos tipos de días grado: Días grado general que fija para todos los climas una zona de confort entre los 18 y 26 °C, este rango es aplicado internacionalmente y se usa como parámetro comparativo entre distintas ciudades y climas; y días grado local que aplica para su determinación la zona de confort propuesta por Szokolay, la cual considera la aclimatación de las personas, usándose para establecer los requerimientos bioclimáticos locales.

Los días grado general se obtienen aplicando la siguiente fórmula:

$$DGc = n (T-18)$$

$$DGe = n (T-26)$$

donde:

DGc = Días grado de calentamiento

DGe = Días grado de enfriamiento

n = Número de días del mes

T = Temperatura media mensual

Los días grado locales se obtienen aplicando la siguiente fórmula:

$$DGc = n (T - (Tn-2.5))$$

$$DGe = n (T - (Tn+2.5))$$

donde:

DGc = Días grado de calentamiento

DGe = Días grado de enfriamiento

n = Número de días del mes

T = Temperatura media mensual

Tn = Temperatura neutra

El análisis se efectúa de manera similar al de la zona de confort, es decir que se establece el número de meses y cantidad de días grado de calentamiento y de enfriamiento y aquellos que no tienen días grados, es decir que no presentan ningún requerimiento térmico.

Oscilación o Amplitud de la temperatura

La oscilación de la temperatura puede ser considerada de manera anual, es decir la diferencia entre la temperatura media del mes mas frío y del mes más caluroso; o la oscilación diaria, es decir, la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas diarias o promedio mensual. De acuerdo a Köppen-García los rangos de oscilación anual se definen como:

Isotermal	menos de 5°C (de oscilación)
Poca oscilación	entre 5 y 7 °C
Extremoso	entre 7 y 14 °C
Muy extremoso	más de 14 °C

Desde el punto de vista arquitectónico, Mahoney recomienda el uso de la masa térmica de las construcciones cuando la oscilación diaria sobrepasa los 10 °C

Humedad relativa:

La humedad está íntimamente relacionada con la temperatura, sin embargo el rango de confort higrométrico es muy amplio, ya que se encuentra entre 30 y 70% de humedad relativa. Este rango es válido para cualquier localidad. El análisis se hace comparando los datos de la localidad en estudio con este rango y definiendo cuando se encuentra por debajo, dentro o por arriba de esta zona de confort higrométrico.

Precipitación:

Precipitación total anual

la precipitación pluvial total anual sirve para definir si una localidad es seca, de precipitación moderada o húmeda. De acuerdo a la clasificación climática de Köppen-García, los climas húmedos de los grupos A y A(C) quedan definidos cuando:

$$P_s > 60 - ((P - 1000) / 25)$$

donde:

P_s = Precipitación de mes más seco

P = Precipitación Total Anual

Mientras que en los climas C y (A)C se definen cuando:

$$P_s > 40 - ((P - 500) / 31)$$

Sin embargo, en términos generales, el rango definido para una precipitación moderada esta comprendido entre los 650 y 1000 mm. Por debajo de esta cifra la localidad será seca y por arriba será húmeda. Generalmente con lluvias anuales inferiores a 400 mm, el clima se puede considerar como desértico. Se considera lluvia fuerte cuando se sobrepasan los 150 mm de precipitación total mensual y poca lluvia cuando no se alcanzan los 40 mm.

Precipitación máxima en 24 horas

Considerando la precipitación máxima (puntual) en 24 hrs. el Servicio Meteorológico Nacional define los siguientes rangos:

Lluvia apreciable e inapreciable

Se llama lluvia apreciable cuando la precipitación fue superior a 0.1 mm e inapreciable cuando ésta se presentó por debajo de ésta cantidad.

mayor a 70 mm.	intensas
50 –70	muy fuerte
de 20 a 50	fuertes
de 10 a 20	moderadas
de 5 a 10	ligeras
menores de 5	escasas

Precipitación máxima en 1 hora:

La intensidad de lluvia se determina de acuerdo a los siguientes criterios¹²⁰:

Intensidad	mm/h	Criterios
Ligera	< 2.5	Las gotas son fácilmente identificables, unas de otras, las superficies expuestas secas tardan más de dos minutos en mojarse completamente.
Moderada	2.5 - 7.5	No se pueden identificar gotas individuales, los charcos se forman rápidamente. Las salpicaduras de la precipitación se observan hasta cierta altura del suelo o de otras superficies planas.
Fuerte	> 7.5	La visibilidad es bastante restringida y las salpicaduras que se producen sobre la superficie se levantan varias pulgadas.

¹²⁰ Glosario de Términos del Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. <http://smn.cna.gob.mx/>

Insolación:

La insolación se refiere al número de horas con radiación solar directa y está expresada de manera acumulada durante el mes y el año. El análisis de la insolación consiste en contrastar los datos contra la insolación máxima posible suponiendo un cielo despejado durante todo el día. Sin embargo la longitud o duración del día varía día a día en función de la latitud y la declinación del Sol. Por ello será necesario calcular la duración del día media mensual.

La duración del día puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$\omega = 2/15(\text{arc cos}(-\tan L * \tan \delta))$$

donde:

ω = longitud del día

L = latitud del lugar

δ = declinación del solar para el día de análisis

Los cálculos de la longitud media mensual corresponderán a la longitud del día 21 de cada mes.

En el caso de la longitud media anual, la longitud del día es de 12 horas por lo que la insolación anual máxima posible es:

$$\text{total anual de horas diurnas} = 365 * 12$$

$$\text{total anual de horas diurnas} = 4,380 \text{ horas}$$

A partir de 1981, la Organización Meteorológica Mundial definió como estándar que la duración de brillo solar o insolación es el periodo de tiempo durante el cual se sobrepasa el umbral de 120 W/m². En realidad esta limitante se establece desde el punto de vista técnico ya que los papeles foto sensibles que utilizan los heliógrafos empiezan a quemarse sólo arriba de esta intensidad. De hecho frecuentemente se utilizan papeles con un umbral de 150 o 200 W/m².

De esta forma, el máximo de insolación anual posible quedará definido como 4,380 menos el número de horas, entre el orto y el ocaso, con menos a 120 W/m².

Como punto de referencia se puede mencionar que de 57 observatorios meteorológicos de la República Mexicana¹²¹, Chihuahua, Chihuahua tiene la más alta insolación con 3,080.9 horas contra 3,405 máximas posibles arriba de 120 W/m² (90.5%); mientras que la más baja se presenta en Córdoba, Veracruz con 1,057.3 horas al año, contra 2,921 por arriba del límite (36.2%)

Conviene hacer el análisis de insolación de manera relativa, es decir contrastar los datos reales contra el máximo posible en forma de porcentaje, y en los análisis mensuales posteriores contrastarla contra los parámetros de radiación y nubosidad.

VISIBILIDAD DOMINANTE

La visibilidad se expresa en metros, aunque ocasionalmente se da de acuerdo a un código que la describe de la siguiente manera:

Codificación	Descripción	Distancia observada (metros)
0	Obstrucción muy densa	50
1	Obstrucción densa	200
2	Visibilidad muy mala	500
3	Visibilidad mala	1,000
4	Visibilidad muy escasa	2,000
5	Visibilidad escasa	4,000
6	Visibilidad regular	10,000
7	Visibilidad buena	20,000
8	Visibilidad muy buena	50,000
9	Visibilidad excelente	>50,000

Viento

El rango de velocidad del viento para espacios interiores está comprendido entre 0.1 y 1.5 m/s. Por debajo de este rango se considera como viento escaso y por arriba como viento fuerte. Para espacios arquitectónicos semi-abiertos el rango puede ampliarse hasta 2 m/s.

¹²¹ Servicio Meteorológico Nacional (DGEIES), *Normales Climatológicas 1951-1980* obs. sinóptica.

ANÁLISIS MENSUAL Y ANUAL

El análisis mensual consiste en evaluar los distintos parámetros de manera interrelacionada. Este análisis se hace con los datos mensuales y anuales. Al igual que con el análisis paramétrico, es importante relacionar los datos con parámetros de referencia, rangos de confort o estrategias de diseño. Los distintos análisis mensuales se establecen de manera importante a partir de diagramas, cartas, o nomogramas que permiten hacer la relación de dos o más variables. Los principales análisis relacionales son:

Temperatura y oscilación

(Triángulo de confort de Evans)

Como lo explica Martín Evans¹²², la oscilación juega un papel importante en la arquitectura Bioclimática: “... en climas desérticos o continentales, la amplitud de temperatura exterior durante el día es muy importante, factor que influye notablemente en la capacidad de lograr el nivel esperado de confort”. Ciertamente la oscilación térmica es muy importante ya que las estrategias de diseño serían muy distintas para dos localidades con igual temperatura media pero con diferentes oscilaciones. (Por ejemplo para dos localidades, una con temperaturas mínimas y máximas de 10 ° C y 30 °C; y otra con 18 °C y 22 ° C respectivamente. Ambas localidades con temperatura media de 20 °C; pero una con una oscilación de 20 °C y otra con 4 °C.)

Debido a la importancia que tiene la oscilación, Evans desarrolló dos diagramas que relacionan la oscilación y la temperatura. El eje horizontal de ambos diagramas representa a la temperatura media del periodo analizado mientras que el eje vertical indica la oscilación para el mismo periodo. El primer diagrama indica cuatro zonas de confort: actividad sedentaria, confort nocturno o para dormir, circulaciones interiores y circulaciones exteriores.

El triángulo principal, que corresponde al confort diurno con actividades sedentarias se configura de la siguiente manera: “con 18 °C, las condiciones medias son confortables pero sin variaciones de temperatura. A medida que aumenta la temperatura media se mantiene en confort con mayor

¹²² Evans, John Martín. *Técnicas Bioclimáticas de diseño: Las Tablas de confort y los Triángulos de confort*. Memorias de Cotedi 2000. (Conferencia Internacional sobre Confort y Comportamiento Térmico de Edificaciones). Maracaibo Venezuela. Junio 2000

amplitud térmica hasta los 23 °C aprox.; con mayor temperatura, la amplitud térmica aceptable disminuye hasta llegar a 28 °C aprox. Con baja humedad relativa y/o poblaciones acostumbradas a altas temperaturas, el límite máximo de la zona de confort puede alcanzar hasta 32 °C. Sin embargo una amplitud mayor a 10 °C es excesiva para mantener confort aún ajustando la vestimenta, y por esta razón el triángulo tiene forma truncada”¹²³.

De Esta forma se definen cuatro zonas “de confort”:

- A = Confort para actividad sedentaria
- B = Confort para dormir
- C = Confort para circulaciones interiores
- D = Confort para circulaciones exteriores

A partir de este diagrama surge el siguiente en donde se definen diferentes estrategias de diseño en función de la temperatura y la oscilación. Las principales estrategias son:

- Ventilación cruzada,
- Ventilación selectiva
- Inercia térmica
- Ganancias Internas
- Ganancias Solares
- y combinaciones de estas mismas.

Para realizar el análisis con el triángulo de confort, es necesario graficar los doce puntos correspondientes a cada mes, así como el valor anual. Definir cada una de las zonas y estrategias para cada uno de los meses y establecer los ciclos estacionales que se presentan.

¹²³ ibid. Evans, John Martin

Temperatura y Precipitación

(Índice ombrotérmico o de aridez)

El índice ombrotérmico es utilizado principalmente en agronomía, ya que expresa cuando la precipitación es suficiente para mantener el suelo húmedo, es decir cuando se requiere de riego o cuando no. Este índice relaciona a la temperatura y a la precipitación y está íntimamente relacionado con la vegetación, y por lo tanto, con la definición climática. De esta forma, el índice ombrotérmico nos sirve para definir la épocas húmedas y secas del año, es decir cuando se presenta déficit de lluvia.

Las fórmulas que se emplean para determinar el índice ombrotérmico son las definidas por Köppen-García¹²⁴. El método para determinar el índice ombrotérmico consiste en graficar de manera sobrepuestas, la temperatura y precipitación mensual. Si la gráfica de precipitación se encuentra arriba de la de temperatura, el suelo estará húmedo (época húmeda); de lo contrario existirá déficit de lluvias (época seca).

La gráfica debe construirse con los doce meses en eje horizontal y dos ejes verticales, uno para graficar la temperatura y otro para la precipitación. La escala del eje de precipitación se relaciona con el de temperatura de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$P = 2t + 28$ Para régimen de lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal menor a 10.2

$P = 2t + 21$ Para régimen de lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor a 10.2

$P = 2t + 14$ Para régimen de lluvias intermedio

$P = 2t$ Para régimen de lluvias de invierno

donde:

P = Precipitación pluvial total mensual (mm)

t = temperatura media mensual (°C)

¹²⁴ García, Enriqueta; Hernández, Ma. Engracia; Cardoso, Ma. Dolores. *Las Gráficas Ombrotérmicas y los Regímenes Pluviométricos en la República Mexicana*. IX Congreso Nacional de Geografía, Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Guadalajara, Jalisco. 1983

En términos prácticos y para poder comparar ambos valores de manera numérica es conveniente leer los valores de precipitación en la escala de temperatura por medio del valor de temperatura equivalente de acuerdo a la relación de escalas. La temperatura equivalente de cada valor dado, queda definida por:

$te = (P-28)/2$ Para régimen de lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal menor a 10.2

$te = (P-21)/2$ Para régimen de lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor a 10.2

$te = (P-14)/2$ Para régimen de lluvias intermedio

$te = P/2$ Para régimen de lluvias de invierno

donde:

te = temperatura equivalente mensual (°C)

P = Precipitación pluvial total mensual (mm)

De esta manera se puede comparar la temperatura media y la temperatura equivalente de la siguiente manera:

$$te / t$$

donde:

te = temperatura equivalente mensual (°C)

t = temperatura media mensual (°C)

Si el cociente es igual a uno significa que las dos temperaturas son iguales, es decir que es el punto de cruce entre ambas gráficas. Si el cociente es mayor a uno significaría que la temperatura equivalente es mayor que la temperatura media, es decir que la gráfica de precipitación se encuentra por arriba de la de temperatura y por lo tanto se trata de un mes “húmedo”. Mientras que si el cociente es menor de uno significaría que la temperatura equivalente es menor a la media mensual, es decir que la gráfica de precipitación se encuentra por debajo de la temperatura y por lo tanto se trata de un mes “seco” o con déficit de lluvia.

-Temperatura efectiva corregida (TEC)-**Temperatura radiante o temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, (humedad) y viento**

El nomograma de temperatura efectiva Corregida fue publicado por primera vez en 1932 por la ASHVE (American Society of Heating and Vent. Engineers.) y posteriormente fue adaptada por Vernon (1932) y por Bedford (1940), Como puede verse, este nomograma es antiguo, sin embargo, es muy práctico y de fácil utilización. La temperatura efectiva corregida, incorpora las variables de temperatura radiante media (ver glosario) o la de bulbo seco; la temperatura de bulbo húmedo (y por lo tanto se establece la relación de humedad) y la velocidad del viento. La TEC es en pocas palabras, la temperatura percibida ante la presencia de todas estas variables.

El procedimiento de análisis con este nomograma consiste en trazar una línea que una el valor de la temperatura radiante o de bulbo seco, con el valor de la temperatura de bulbo húmedo, correspondientes a cada mes. En el diagrama se definirá la temperatura efectiva corregida, en función de la velocidad del viento. Conviene resaltar la zona de confort para definir en que meses las condiciones ambientales son confortables por la interrelación de estas cuatro variables.

Matemáticamente se puede encontrar los valores de la TEC a la velocidad de 0.1 m/s y un arropamiento de 1 Clo. mediante la siguiente ecuación¹²⁵ :

$$TEC = (1.21 T_g - 0.21 T_{bh}) / (1 + 0.029 (T_g - T_{bh}))$$

donde:

TEC = temperatura efectiva corregida (°C)

T_g = Temperatura de globo o radiante (°C)

(en caso de contar con esta temperatura se introduce la temperatura de bulbo seco)

T_{bh} = Temperatura de bulbo húmedo (°C)

¹²⁵ Szokolay, Steven and Auliciems, Andris. *Thermal Comfort*. PLEA & University of Queensland. Australia 1997
Cf. ASHRAE Handbook *Fundamentals* ibid. Actualmente existe una “Nueva Temperatura Efectiva (ET*)” vinculada con el diagrama psicrométrico. Para su cálculo y utilización consúltese la bibliografía de esta cita.

- Índice de Calor-**Temperatura y Humedad**

El índice de calor o temperatura aparente es un índice que indica la percepción de calor cuando a las altas temperaturas se les relaciona con la humedad. Es decir que a mayores temperaturas, la humedad relativa juega un papel importante en la percepción térmica y de confort. El índice de calor se puede calcular mediante la siguiente fórmula¹²⁶ y es válido para temperaturas mayores a 26 °C (78 °F)

$$\begin{aligned} \text{IC} = & -42.379 + 2.04901523 (\text{Tf}) + 10.14333127 (\text{HR}) - 0.22475541 (\text{Tf}) (\text{HR}) \\ & - 6.83783 \times 10^{-3} (\text{Tf}^2) - 5.481717 \times 10^{-2} (\text{HR}^2) + 1.22874 \times 10^{-3} (\text{Tf}^2) (\text{HR}) \end{aligned}$$

¹²⁶ Ibid. Palmer, Chad. *Heat Index*. <http://www.usatoday.com/weather/whumcalc.htm>

$$+ 8.5282 \times 10^{-4} (Tf) (HR^2) - 1.99 \times 10^{-6} (Tf^2) (HR^2)$$

donde:

IC = Índice de Calor (°F)

Tf = Temperatura (°F)

HR = Humedad relativa (%)

Los rangos del índice de calor son los siguientes:

- > 54 °C (130 °F) Choque o conmoción térmica
- 41 – 54 °C (105 – 129 °F) Insolación, calambres y agotamiento térmico.
Posible choque térmico con exposición prolongada o actividad física.
- 32 – 41 °C (90 – 105 °F) Posible Insolación, calambres y agotamiento térmico con exposición prolongada o actividad física.
- 27 – 32 °C (80 – 90 °F) Posible fatiga con la exposición prolongada o actividad física.

Tabla 34. Índice de Calor o Temperatura Aparente

Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)															
	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
45	50.5	54.1	58.3	62.8	67.9	73.3	79.2	85.6	92.4	99.7	107.4	115.6	124.2	133.2	142.7	152.7
44	48.4	51.7	55.5	59.6	64.2	69.3	74.7	80.6	86.9	93.6	100.8	108.4	116.4	124.9	133.7	143.0
43	46.5	49.4	52.8	56.6	60.8	65.4	70.4	75.8	81.6	87.8	94.5	101.5	108.9	116.8	125.1	133.7
42	44.6	47.2	50.3	53.7	57.5	61.7	66.2	71.2	76.5	82.3	88.4	94.9	101.8	109.0	116.7	124.8
41	42.8	45.1	47.8	50.9	54.3	58.1	62.3	66.8	71.7	77.0	82.6	88.6	94.9	101.6	108.7	116.1
40	41.1	43.1	45.5	48.3	51.3	54.8	58.5	62.6	67.1	71.9	77.0	82.5	88.3	94.5	101.0	107.9
39	39.5	41.2	43.3	45.8	48.5	51.6	55.0	58.7	62.7	67.1	71.8	76.8	82.1	87.7	93.7	99.9
38	37.9	39.4	41.3	43.4	45.9	48.6	51.6	55.0	58.6	62.5	66.7	71.3	76.1	81.2	86.6	92.4
37	36.4	37.8	39.3	41.2	43.4	45.8	48.5	51.4	54.7	58.2	62.0	66.1	70.4	75.1	80.0	85.1
36	35.0	36.2	37.5	39.1	41.0	43.1	45.5	48.1	51.0	54.2	57.5	61.2	65.1	69.2	73.6	78.2
35	33.7	34.7	35.8	37.2	38.8	40.7	42.7	45.1	47.6	50.3	53.3	56.5	60.0	63.7	67.6	71.7
34	32.5	33.3	34.3	35.4	36.8	38.4	40.2	42.2	44.4	46.8	49.4	52.2	55.2	58.4	61.9	65.5
33	31.4	32.0	32.8	33.8	34.9	36.3	37.8	39.5	41.4	43.5	45.7	48.1	50.8	53.5	56.5	59.7
32	30.3	30.8	31.5	32.3	33.2	34.4	35.6	37.1	38.7	40.4	42.3	44.4	46.6	49.0	51.5	54.2
31	29.3	29.7	30.3	30.9	31.7	32.6	33.7	34.8	36.2	37.6	39.2	40.9	42.7	44.7	46.8	49.0
30	28.4	28.8	29.2	29.7	30.3	31.0	31.9	32.8	33.9	35.0	36.3	37.7	39.1	40.7	42.4	44.2
29	27.6	27.9	28.2	28.6	29.1	29.7	30.3	31.0	31.8	32.7	33.7	34.7	35.9	37.1	38.4	39.7
28	26.9	27.1	27.4	27.7	28.0	28.4	28.9	29.4	30.0	30.7	31.4	32.1	32.9	33.7	34.7	35.6
27	26.2	26.4	26.6	26.9	27.1	27.4	27.7	28.1	28.5	28.9	29.3	29.7	30.2	30.7	31.3	31.8
26	25.7	25.8	26.0	26.2	26.4	26.6	26.7	26.9	27.1	27.3	27.5	27.7	27.9	28.0	28.2	28.4

Índice de viento frío (Wind chill index)

El *índice de viento frío* equivale a la temperatura de aire quieto que provocaría el mismo grado de pérdidas de calor del cuerpo debido al efecto combinado de temperatura y viento. Es decir, la temperatura percibida por la acción del viento (arriba de 2 m/s) y a bajas temperaturas. Este índice se puede calcular mediante¹²⁷:

$$WCI = 33 - [(10.45 + 10(v^{0.5}) - v) (33 - t)] / 22$$

donde:

WCI = Wind Chill Index (°C)

v = velocidad del viento (m/s)

t = temperatura del aire TBS (°C)

Tabla 35. Índice de Viento Frío

Temperatura (°C)	Velocidad del viento (m/s)								
	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
10	9.4	8.2	7.1	6.2	5.3	4.6	3.9	3.3	2.7
9	8.4	7.1	6.0	5.0	4.1	3.4	2.7	2.0	1.4
8	7.3	6.0	4.9	3.8	2.9	2.1	1.4	0.7	0.1
7	6.3	4.9	3.7	2.7	1.7	0.9	0.1	-0.6	-1.2
6	5.3	3.8	2.6	1.5	0.5	-0.3	-1.1	-1.9	-2.5
5	4.2	2.8	1.5	0.3	-0.7	-1.6	-2.4	-3.1	-3.8
4	3.2	1.7	0.3	-0.8	-1.9	-2.8	-3.7	-4.4	-5.2
3	2.2	0.6	-0.8	-2.0	-3.1	-4.0	-4.9	-5.7	-6.5
2	1.2	-0.5	-1.9	-3.2	-4.3	-5.3	-6.2	-7.0	-7.8
1	0.1	-1.6	-3.0	-4.3	-5.5	-6.5	-7.5	-8.3	-9.1
0	-0.9	-2.6	-4.2	-5.5	-6.7	-7.7	-8.7	-9.6	-10.4
-1	-1.9	-3.7	-5.3	-6.7	-7.9	-9.0	-10.0	-10.9	-11.7
-2	-2.9	-4.8	-6.4	-7.8	-9.1	-10.2	-11.2	-12.2	-13.0
-3	-4.0	-5.9	-7.5	-9.0	-10.3	-11.4	-12.5	-13.5	-14.4
-4	-5.0	-7.0	-8.7	-10.2	-11.5	-12.7	-13.8	-14.8	-15.7
-5	-6.0	-8.0	-9.8	-11.3	-12.7	-13.9	-15.0	-16.1	-17.0
-6	-7.0	-9.1	-10.9	-12.5	-13.9	-15.2	-16.3	-17.3	-18.3
-7	-8.1	-10.2	-12.0	-13.7	-15.1	-16.4	-17.6	-18.6	-19.6
-8	-9.1	-11.3	-13.2	-14.8	-16.3	-17.6	-18.8	-19.9	-20.9
-9	-10.1	-12.4	-14.3	-16.0	-17.5	-18.9	-20.1	-21.2	-22.3
-10	-11.2	-13.4	-15.4	-17.2	-18.7	-20.1	-21.4	-22.5	-23.6

¹²⁷ Ibid. Palmer, *Wind Chill Index*. <http://www.usatoday.com/weather/whumcalc.htm>

-Tabla de Mahoney-**Temperatura, humedad, precipitación, y oscilación**

Carl Mahoney ¹²⁸ construyó una serie de tablas que permiten definir estrategias generales de diseño en función de los principales parámetros climáticos: temperatura, humedad, precipitación y oscilación térmica.

El análisis climático se hace a partir de definir cuatro grupos climáticos:

Grupo 1	HR menor a 30 %
Grupo 2	HR entre 30% y 50%
Grupo 3	HR entre 50% y 70%
Grupo 4	HR mayor a 70%

También se establecen tres grupos o rangos de temperatura media anual:

Rango 1	Tma mayor a 20 °C
Rango 2	Tma entre 15 y 20 °C
Rango 3	Tma menor a 15 °C

En función de estos grupos de humedad y rangos de temperatura se definen distintos rangos de confort para el día y la noche. Estos rangos de confort, revisados por Szokolay¹²⁹, son los siguientes:

Tabla 36. Límites de confort para tablas de Mahoney revisados por Szokolay

Grupo de Humedad	Temperatura media anual					
	A		B		C	
	mayor a 20 °C		entre 15 y 20 °C		menor a 15 °C	
	día	noche	día	noche	día	noche
1	26-33	17-25	23-31	14-23	21-30	12-21
2	25-30	17-24	22-29	14-22	20-27	12-20
3	23-28	17-23	21-27	14-21	19-26	12-19
4	22-27	17-21	20-25	14-20	18-24	12-18

¹²⁸ cf. Koenigsberger, et al *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Editorial Paraninfo, Madrid. España. 1977

¹²⁹ Szokolay, Steven and Docherty Michael. *Climate Analysis*. PLEA, The University of Queensland. Australia, 1999.

El límite de precipitación se establece en 150 mm. y el de oscilación térmica en 10 °C.

A partir de estos rangos y límites de establecen seis indicadores; tres para climas húmedos y tres para secos. Y en función del número de indicadores encontrados para todo el año se definen nueve estrategias de diseño: Distribución, espaciamiento, movimiento del aire, tamaño de las aberturas, posición de las aberturas, protección de las aberturas, pisos y muros, cubiertas y espacios exteriores de uso nocturno.

Viento y precipitación.

La interrelación del viento con la precipitación dá como resultado la obtención del ángulo de la lluvia. Este parámetro es importante para el diseño de dispositivos de protección contra la lluvia.

El ángulo de lluvia está en función de la velocidad del viento y la velocidad de caída de las gotas de agua (ver tabla 14). La velocidad de caída se puede determinar mediante:

$$V_t(d) = -0.166033 + 4.91844d - 0.888016d^2 + 0.054888d^3$$

Donde:

$V_t(d)$ = Velocidad terminal de las gotas de diámetro (d) (m/s)

d = Diámetro de las gotas (mm)

De esta forma el ángulo de lluvia será el resultado vectorial entre las velocidades de la lluvia y del viento:

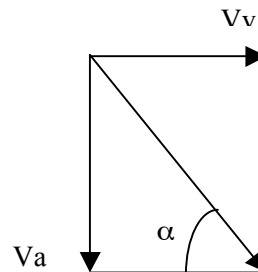
$$\alpha = \text{arc tan } (V_a / V_v)$$

Donde:

α = Ángulo de lluvia (grados)

V_a = Velocidad de caída de las gotas de agua (m/s)

V_v = Velocidad del viento (m/s)



-Diagrama Bioclimático-

Temperatura y humedad relativa

Víctor Olgyay¹³⁰ fue el primero en definir una zona de confort con fines arquitectónicos a partir de una gráfica de temperaturas y humedades. Esta carta fue posteriormente ajustada por Arens¹³¹, y finalmente presentada por Szokolay¹³² con ajustes a la Temperatura neutra.

En esta carta Bioclimática se define la zona de confort y cuatro estrategia básicas de diseño: Calentamiento, Control solar o sombreado, ventilación natural y humidificación. La carta esta hecha para un arropamiento de 1 clo. Y se puede utilizar para distintos grados de metabolismo (130, 210, 300 y 400W). En esta carta se grafican las líneas correspondientes a las temperaturas y humedades máximas y mínimas de cada uno de los meses y se definen los porcentajes correspondientes a cada una de las estrategias.

¹³⁰ Olgyay, Víctor. *Design With Climate*. Princeton University Press. USA. 1963

¹³¹ Arens, et al. *A New Bioclimatic Chart for Environmental Design*. Proceedings of Building Energy Management Conference (ICBEM) Provoa de Varzim. Pergamon Press, 1980

¹³² Szokolay, Steven. *Passive and low Energy design for Thermal and Visual Comfort*. Proceedings of the International conference on Passive and Low Energy Ecotechniques applied to housing (PLEA 84). México Pergamon Press 1984

-Carta Psicrométrica-

Parámetros psicrométricos

La carta psicrométrica es un diagrama en donde se definen las relaciones y parámetros psicrométricos del aire húmedo. Los parámetros que se pueden leer en esta carta son: La temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo, la presión de vapor de agua y humedad absoluta, la humedad relativa, el volumen específico y la entalpía. Es decir todos los parámetros psicrométricos. Contando con dos de ellos es posible graficar las características energéticas y de humedad de una mezcla de aire seco con vapor de agua. Recordemos que la psicrometría es aquella parte de la física que está en cierta forma íntimamente ligada a las propiedades termodinámicas del aire húmedo y es a través de este diagrama que se estudian dichas propiedades.

Baruch Givoni¹³³ fue el primero que utilizó esta carta con fines arquitectónicos, definiendo una zona de confort y distintas estrategias de diseño: Calentamiento, ventilación, humidificación, enfriamiento evaporativo, masa térmica, masa térmica con ventilación nocturna y sistemas activos o convencionales de acondicionamiento del aire.

De igual manera que en la carta Bioclimática en la carta psicrométrica se dibujan las líneas de temperatura y humedad máximas y mínimas correspondientes a cada mes y se definen los porcentajes correspondientes a cada una de las estrategias.

¹³³ Givoni, Baruch. *Man Climate and Architecture*. Applied Science Publishers London, England 1981

5.2.3 Caracterización Climática

La caracterización climática se realiza cruzando la información dada por los análisis paramétrico, mensual y anual.

Ciclos o periodos climáticos

Es conveniente definir los ciclos climáticos a lo largo de todo el año, esto será de mucha utilidad para definir los periodos en que deberán aplicarse las distintas estrategias de diseño. Los principales ciclos o periodos climáticos son los siguientes:

- Periodo de sobre calentamiento, confort y/o bajo calentamiento

Por lo tanto:

- Periodos con requerimientos de enfriamiento y/o calentamiento
- Periodos de alta oscilación térmica

- Periodo húmedo y/o seco
- Periodo de precipitaciones abundantes y/o escasas

- Periodos de alta y/o baja nubosidad
- Periodos de alta y/o baja insolación
- Periodos de alta y/o baja radiación solar
- Periodos con inclinación solar norte (para latitudes inferiores a $23^{\circ} 27'$)
- Fechas con sol en el cenit

- Periodos de vientos dominantes estacionales, variables o de calmas.

- Periodos de fenómenos climáticos y meteorológicos especiales.

También es importante destacar los ciclos naturales destacados de la localidad; principalmente relacionados con los ciclos vegetales de florecimiento, siembra o cosecha.

5.2.4 Análisis Horario

Es necesario hacer un análisis horario de los parámetros más importantes. Este tipo de análisis es muy valioso para definir estrategias de diseño más finas o detalladas. Los principales parámetros a considerarse en este análisis son: temperatura, humedad y viento; de ser posible también podrá hacerse el análisis de la nubosidad y la radiación solar. Para hacer estos estudios es necesario contar con los datos horarios de todo el año. Estos datos son proporcionados por los observatorios meteorológicos.

En el caso de la temperatura y la humedad estos datos pueden ser estimados cuando no se cuenta con datos reales. Existen varios modelos o métodos para hacer esta estimación. Todos ellos se basan en el comportamiento “sinusoidal” de las curvas de temperatura y humedad. Hay distintos algoritmos que hacen esta estimación. Sin embargo el método más sencillo es un gráfico presentado por Koenigsberger¹³⁴ y Szokolay en 1977. se trata de un gráfico o nomograma en el cual únicamente se traza una línea entre dos escalas de temperatura, una que corresponde a la temperatura máxima y otra a la mínima.. La temperatura mínima está definida a las 6:00 horas, mientras que la máxima a las 14:00 horas. A través de esta línea trazada se pueden determinar las temperaturas para todas las demás horas del día con intervalo de dos horas.

¹³⁴ Koenigsberger, et al. *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 1977. p78

Otro método gráfico consiste en graficar una curva sinusoidal donde los valores mínimos y máximos corresponden a las 6:00 y 15:00 horas. Y simplemente ajustar los valores de temperaturas mínimas y máximas a éstos valores. (Se puede hacer fácilmente con un escalímetro; ajustando el valor de la temperatura mínima en el punto A y el valor máximo en el punto B del diagrama).

Las temperaturas horarias a partir de la curva sinusoidal se pueden calcular matemáticamente por medio de la trigonometría. Los cálculos se hacen a partir del eje central de la curva, es decir la mitad de la oscilación o amplitud térmica:

$$(T_{\max} - T_{\min}) / 2$$

A partir de esta línea se puede estimar la temperatura horaria (T_h) por medio de la función seno:

$$\text{Sen } \Theta = \text{op} / \text{hip}$$

Si la primera mitad del círculo se divide en nueve horas, cada una representa 20° , por lo tanto el ángulo Q queda definido por:

$$\Theta = 90 - 20 (h-6)$$

de manera similar la otra mitad del círculo se divide en 15 partes, con un ángulo de 12° por cada hora. Por otro lado, la hipotenusa es igual al radio del círculo es decir la mitad de la oscilación. por lo que la amplitud de T_h a partir de la línea media queda definida por:

$$\text{Sen } \Theta * (\text{osc}/2)$$

Siendo la temperatura horaria:

$$T_h = T_{\min} + ((\text{osc}/2) - (\text{sen } \Theta (\text{osc}/2)))$$

Ejemplo:

Estimar la temperatura horaria a las 8 hr. Siendo la temperatura máxima 26.5 °C y la mínima de 16.5 °C.

La oscilación es igual a $26.5 - 16.5 = 10$, por lo tanto la mitad de la oscilación es de 5 °C

El ángulo Θ es igual a:

$$\Theta = 90 - 20 (8-6)$$

$$\Theta = 50$$

La temperatura estimada a las 8 hrs es:

$$T_h = T_{min} + ((osc/2) - (sen \Theta (osc/2)))$$

$$T_{h8} = 16.5 + (5 - (sen 50 (5)))$$

$$T_{h8} = 17.67 \text{ °C}$$

Ejemplo 2:

Estimar la temperatura horaria a las 12 hr. Siendo la temperatura máxima 26.5 °C y la mínima de 16.5 °C.

La oscilación es igual a $26.5 - 16.5 = 10$, por lo tanto la mitad de la oscilación es de 5 °C

El ángulo Θ es igual a:

$$\Theta = 90 - 20 (12-6)$$

$$\Theta = -30$$

La temperatura estimada a las 8 hrs es:

$$T_h = T_{min} + ((osc/2) - (sen \Theta (osc/2)))$$

$$T_{h12} = 16.5 + (5 - (sen -30 (5)))$$

$$T_{h12} = 24.0 \text{ °C}$$

Cabe señalar que en este ejemplos no se toma en cuenta a la temperatura media; ya que se supone como $(T_{min} + T_{max}) / 2$, lo cual resulta en una curva sinusoidal simple; si se desea tomar en cuenta a la temperatura media, será necesario ajustar la curva sinusoidal.

Una vez que se tienen tabulados los valores de las temperaturas horarias, deben definirse los periodos de sobrecalentamiento, confort y bajo calentamiento. Los datos horarios así definidos deberán relacionarse con: los horarios de uso de cada uno de los espacios y con la gráfica solar.

Relacionar los rangos de confort a la gráfica solar y el estudio de horarios de uso del espacio, permitirá definir la mejor orientación y la ubicación de cada uno de los espacios en función de sus requerimientos de asoleamiento, y requerimientos térmicos, ya sea por ganancias directas o indirectas de la radiación solar. Además del posterior diseño de dispositivos de control solar.

VI

ESTRATEGIAS BASICAS DE DISEÑO

6.1 Estrategias básicas de diseño

Las estrategias básicas de climatización se relacionan con los mecanismos de transferencia de calor, es decir con las formas en que se transfiere energía. Los mecanismos de transferencia son: Conducción, Convección y Radiación. Los cambios de fase (del agua), aunque no pertenecen propiamente a los mecanismos de transferencia de calor, si involucran la absorción o desprendimiento de energía, por lo tanto también se considera a la evaporación como parte de las formas de transferencia.

Existen básicamente dos casos de necesidades de acondicionamiento. La primera es cuando hace frío, y la segunda, cuando hace calor. Para ellos, las estrategias de climatización son opuestas. Cuando hace frío es necesario promover o favorecer las ganancias de calor y evitar que este calor ganado se pierda. Por el contrario, cuando hace calor, deberá evitarse ganar calor debiendo propiciarse las pérdidas.

Relacionando estos criterios básicos con los distintos mecanismos de transferencia, resultan las siguientes estrategias:

Tabla 38. Estrategias Básicas de Diseño¹³⁵

		Mecanismos de transferencia de calor			
		CONDUCCIÓN	CONVECCIÓN	RADIACIÓN	EVAPORACIÓN
FRÍO	Promover las ganancias			Promover Ganancia Solar	
	Evitar las pérdidas	Minimizar el flujo conductivo de calor	Minimizar el flujo de aire externo Minimizar la infiltración		
CALOR	Evitar las ganancias	Minimizar el flujo conductivo de calor	Minimizar la infiltración	Minimizar la ganancia solar	
	Promover las pérdidas	Promover el enfriamiento terrestre	Promover la ventilación	Promover el enfriamiento radiante	Promover el enfriamiento evaporativo

¹³⁵ Watson, Donald. *Climatic Design*. McGraw-Hill Book Co. New York. USA. 1983

Conducción.

La conducción se refiere a la transferencia de calor que se da a través de los cuerpos sólidos, en este sentido, minimizar el flujo conductivo, ya sea en un sentido o en el otro, se puede lograr mediante una adecuada selección de los materiales y sistemas constructivos, así como el diseño de sus capas y espesores. Es decir a través de un buen diseño de la envolvente del edificio. Sin embargo también es importante un buen concepto arquitectónico. Por ejemplo, la forma del edificio. La misma superficie o volumen puede conseguirse con distintas formas y envolventes que desarrollarán mayor o menor área superficial. Si se desea evitar el intercambio de calor entre el edificio y su medio ambiente, deberán diseñarse espacios que ofrezcan la mayor superficie con la menor área de envolvente expuesta a la intemperie. Lo anterior sucederá tanto para climas fríos como para cálidos secos o extremosos, en donde la forma compacta será la más conveniente.

Además de control del flujo conductivo a través de los materiales constructivos, también se puede utilizar un “sumidero de calor” para propiciar las pérdidas. El elemento más simple para captar esta energía es el suelo o terreno. Este principio se ve incrementado en construcciones enterradas o semi enterradas. Básicamente para climas extremosos.

Convección

La convección es la transferencia que se da a través de los fluidos, en este caso el aire. La transferencia de la energía por convección se puede lograr en dos sentidos. Primero por el control de las fugas e infiltraciones. Y segundo por el manejo adecuado de la ventilación natural.

El primer caso se controla por medio de un diseño adecuado de las ventanas y puertas, incluso esclusas térmicas que den ciertos grados de hermeticidad al edificio. La ventilación también tiene que ver en gran medida con el diseño de las aberturas y ventanas. Pero principalmente con el diseño arquitectónico, ya que la forma, orientación y configuración de las construcciones son importantes en el desempeño de la ventilación. En este caso las formas alargadas y orientadas hacia los vientos dominantes propiciarán una mejor ventilación natural.

Radiación

La radiación no requiere de medio de transporte. Y se puede establecer de dos formas: por radiación solar o por enfriamiento radiante. En el caso de la radiación solar, ésta puede propiciarse o evitarse. Nuevamente la forma, orientación y disposición de los espacios es muy importante para

propiciar o evitar las ganancias por radiación solar. Así mismo el buen diseño de ventanas y dispositivos de control solar.

La radiación puede utilizarse como sistema de enfriamiento si se utiliza el cielo despejado de nocturno como “sumidero de calor”. Ya que la radiación de onda larga infrarroja (calor acumulado en la estructura) será emitido hacia la superficie negra del cielo.

Enfriamiento evaporativo.

La transferencia de calor por enfriamiento evaporativo se consigue por el cambio de fase del agua, de estado líquido a gaseoso. Se puede lograr por medio de estanques o fuentes; aunque en este caso la vegetación juega un papel muy importante debidos a su evo- transpiración.

Pérdidas o Ganancias Directas o Indirectas

Las ganancias o pérdidas de calor pueden darse de manera directa o indirecta. Directa es cuando el efecto de la transferencia es instantáneo o inmediata. Indirecta cuando el efecto es diferido o retardado, generalmente por elementos que captan, almacenan y controlan el flujo de calor.

Para mayor detalle de las estrategias de diseño en función de los mecanismos de transferencia se recomienda consultar a Ferreiro¹³⁶.

¹³⁶ Cf. Ferreiro L. Héctor. *Climatología*, Capítulo 3 del libro *Manual de Arquitectura Solar*, compilado por Lacomba, Ruth. Editorial Trillas, México D.F. 1991 pp 53 - 64

6.2 Matriz de clima

La matriz de clima se presenta como un diagrama de resumen, donde en función del análisis climático y en función de los mecanismos de transferencia de calor se definen ciertas estrategias y elementos de regulación.

Las estrategias y elementos que se presentan en la matriz, están dados a manera de ejemplo. En realidad éstos deben ser elegidos de manera particular en función del análisis climático y de las características específicas de cada proyecto.

En las primeras columnas debe definirse la condicionante climática, que corresponde a cada uno de los nueve bioclimas. En seguida debe definirse la estrategia básica de climatización, las cuales se dividen de manera genérica en: calentamiento, enfriamiento, humidificación o deshumidificación. Estas estrategias podrán darse de manera directa o indirecta en función de los mecanismos de transferencia de calor; definidos en las siguientes dos columnas.

Posteriormente se presentan 12 columnas correspondientes a cada uno de los meses del año. En ellas se deberá marcar los ciclos o periodos mensuales correspondientes a cada una de las estrategias de diseño. Finalmente se presentan algunos elementos reguladores que podrán utilizarse para obtener el efecto de climatización deseada. Estos elementos deberán ser seleccionados, añadidos o eliminados, en función de las características particulares del proyecto.

VII

EJEMPLO DE APLICACIÓN

Ejemplo de aplicación: Ciudad de México.**7.1 Ubicación Geográfica**

La ciudad de México se encuentra en la meseta de Anáhuac, también conocida actualmente como la cuenca de México; en su parte central la planicie tiene una altitud aproximada de 2240 metros de altura sobre el nivel del mar. Su ubicación geográfica se encuentra comprendida entre los paralelos 19° 15' y 10° 30' de latitud norte, y entre los meridianos 99° 00' y 99° 15' de longitud oeste.

Situada al oeste del ex lago de Texcoco, la ciudad de México presenta la particularidad geográfica de estar circundada por una topografía montañosa. Al norte por la sierra de Guadalupe, a oeste por las sierras de San Miguel y las Palmas, al suroeste por la sierra del Ajusco (el punto más alto con 3,950 msnm) y al sur la sierra de Cuautzin. De los múltiples lagos y ríos que tenía la ciudad de México a su alrededor prácticamente no se conserva ninguno. Así, la capital de la república ha perdido 99% de su área lacustre y 73% de sus bosques.

7.2 Mesoclima.

Actualmente la Zona Metropolitana de la Ciudad de México cuenta con una superficie aproximada de 1, 500 km². Debido a su extensión se presentan distintas características climáticas. En su mayor parte la ciudad de México presenta un clima templado. El verano es fresco, lluvioso y prolongado, mientras el invierno seco con lluvias escasas; se presenta poca oscilación anual y el clima es de tipo ganges. De acuerdo a los datos de la estación del observatorio meteorológico de Tacubaya, su clasificación climática según Köppen-García es Cb(w1)w(i')g.

En cuanto a su agrupación Bioclimática, se considera semifría, ya que la temperatura media del mes más caluroso es menor a 21 °C y su precipitación pluvial anual se encuentra entre 650 y 1000 mm. Sin embargo la parte oriente de la ciudad presenta descenso de precipitación por debajo de 650 mm, por lo que esta zona llega a caracterizarse como clima seco.; al poniente, en las partes altas del Ajusco se presentan precipitaciones superiores a los 1000 mm anuales, lo que las convierte en húmedas desde el punto de vista bioclimático.

7.3 Análisis paramétrico.

Temperatura

Durante todo el año las temperaturas mínimas y medias se ubican por debajo de la zona de confort mensual (definida de acuerdo a las fórmula de Szokolay). Con base en las temperaturas máximas se puede decir que las tardes de todo el año son confortables a excepción de los meses de marzo, abril y mayo, cuando la temperatura sobrepasa ligeramente la zona de confort. La temperatura media mas elevada se presenta en el mes de mayo (18.1°C), sin embargo la mayor temperatura máxima se presenta en el mes de abril con 26.6 °C, siendo el límite máximo de confort para este mes de 25.7 °C, es decir que la temperatura llega a sobrepasar a la zona de confort por menos de un grado centígrado. Es necesario considerar que se han llegado a presentar temperaturas máximas hasta de 33 °C ; y mínimas hasta de -9.5 °C. Desde noviembre hasta febrero pueden llegar a presentarse temperaturas por debajo de 0 °C.

Como es lógico, las oscilaciones térmicas más elevadas se presentan en la época seca y calurosa del año; mientras que disminuyen en la época más húmeda. La oscilación máxima se presenta en marzo con 16.5 °C mientras que la mínima se presenta en con 11.5 °C. Si bien el clima de la ciudad de México se clasifica como de poca oscilación anual (5.2 °C), puede afirmarse que presenta días extremos, con una oscilación media de 13.8 °C

Humedad

Durante las mañanas de prácticamente todo el año se presentan humedades relativamente altas, únicamente en los meses de marzo y abril la humedad máxima se presenta con menos de 70%, el resto de los meses se encuentra por arriba de esta cifra; incluso a partir de junio está por arriba del 80% fuera del confort higrométrico. La humedad relativa media se encuentra dentro de l rango de confort casi todo el año a excepción de los meses de agosto y septiembre, sin embargo apenas sobrepasa en 1% el límite superior de 70%. Por otra parte, los meses de febrero, marzo y abril se presentan humedades relativamente bajas por las tardes, ya que no alcanzan el 30%, sin embargo están muy cerca de este límite. 27% es la humedad relativa mínima más baja y se presenta en el mes de marzo.

La humedad relativa tiene un comportamiento inverso al de la oscilación térmica, es decir que presenta una mayor amplitud en los meses lluviosos y menor en la época calurosa y seca del año. La mayor amplitudes presenta en los meses de julio y agosto alcanzando los 50 puntos porcentuales y la mínima en marzo; mientras que la menor se presenta en marzo y abril con 38 puntos.

Precipitación y evaporación

Como se puede apreciar en la gráfica, se presentan varias épocas de acuerdo a la precipitación. La época de precipitación baja empieza a mediados de octubre y termina a mediados de abril. A partir de este punto comienza una época de precipitación media hasta principios de junio; la época de alta precipitación se presenta prácticamente durante junio, julio y agosto, para regresar nuevamente a una etapa de precipitaciones medias. También hay que tomar en cuenta que la precipitación media puede llegar fácilmente a duplicarse, tal y como lo muestran las precipitaciones máximas.

Comparando a la precipitación con la evaporación se puede ver que la precipitación es mayor a la evaporación desde finales de mayo hasta finales de septiembre; definiéndose ésta como la época húmeda del año. En los demás meses la evaporación es mayor por lo que se presenta un déficit de humedad. En los meses de marzo, abril y mayo la evaporación es alta ya que sobrepasa el límite de 150 mm, por lo que estos tres meses son los más secos del año, esto a pesar de que febrero presenta la menor precipitación con apenas 4.3 mm.

Cabe señalar que la precipitación total anual es de 816 mm, prácticamente al centro de los límites de 650 y 1000 mm. por lo que el bioclima se define como de precipitaciones medias. Por otro lado, las precipitaciones tanto en 24 como en 1 hora, pueden llegar a ser fuertes o intensas; a excepción de febrero y diciembre, meses con poca precipitación total y de intensidad moderada.

Radiación Solar

La radiación total alta se presenta de mediados de enero a principios de mayo sobrepasando los 700 W/m^2 . Esto representa aproximadamente el 70 %, o mas, de la radiación teórica total máxima posible que podría incidir sobre un plano horizontal en la latitud de la ciudad de México para cada uno de los meses del año. Igualmente, la radiación solar directa es alta desde mediados de enero hasta principios de mayo. Sobrepasando los 500 W/m^2 .

Como es lógico suponer, la radiación desciende en los meses lluviosos (junio, julio y agosto, debido principalmente a la alta nubosidad. La radiación también es baja en noviembre, diciembre y enero, debido a la declinación solar.

Ya que la latitud de la ciudad de México es menor a $23^{\circ} 27'$, el sol a medio día llega a sobrepasar el cenit inclinándose hacia el norte en cierta época del año. El sol se encuentra en el cenit a medio día el 18 de mayo y el 27 de julio, es decir, que entre estas dos fechas el sol estará ubicado hacia el norte.

Nubosidad

Se presenta predominancia de días despejados de enero a finales de marzo mientras que la época de nublados o cerrados se presenta entre junio y finales de octubre. Se presentan también, dos épocas de transición o medios nublados, la primera entre abril y mayo siendo el punto de inflexión a principios de mayo. La segunda época de medios nublados se presenta en noviembre y diciembre con el punto de inflexión a principios de noviembre. La máxima nubosidad coincide con el mes de mayores lluvias: julio.

Se observa una ligera disminución de nublados en agosto, la cual vuelve a incrementarse en el mes de septiembre. Esto pudiera suceder debido a que septiembre es el mes de mayor incidencia de huracanes, los cuales introducen grandes cantidades de humedad y por lo tanto de nubosidad a la atmósfera. La merma de nubosidad en agosto se ve reflejada en el aumento de los días medio nublados en este mismo mes.

Insolación.

La insolación está presentada como porcentaje de las horas de sol directo con respecto a la duración del día (en este caso medida el día 21 de cada mes). Aunque también puede representarse por el porcentaje de las horas de sol directo con respecto al número de horas con radiación solar mayor a 120 W/m^2 , es decir con respecto a la insolación máxima posible registrada por el heliógrafo. Este segundo criterio es más preciso si se cuenta con los datos horarios de la radiación solar; ya que se pierden por lo menos dos horas al día (una al amanecer y otra al atardecer) con radiaciones inferiores a los 120 W/m^2 .

En este caso se tomó como límite de la insolación 50%. Es decir cuando por lo menos la mitad de las horas del día se cuenta con radiación solar directa. De acuerdo a este límite tenemos una buena insolación desde el mes de enero hasta mediados de abril, y de manera puntual en el mes de noviembre.

Destaca la relación directa que existe entre la insolación y la nubosidad.

Días Grado

Días Grado Generales. De acuerdo a este tipo de días grado, no se existen requerimientos de calentamiento (ni enfriamiento) únicamente en los meses de abril y mayo. El resto del año si se requiere de calentamiento hasta con más de 150 DGC en los meses de diciembre y enero.

De acuerdo con los Días Grado Locales los requerimientos de calentamiento se presentan durante todo el año, estos requerimientos son bajos en abril y mayo considerando como límite de los requerimientos bajos 2.5 °C diarios.

Viento

Velocidad.

Las velocidades medias del viento son en general bajas, únicamente en el mes de marzo se sobrepasan el 1.5 m/s. Sin embargo las velocidades máximas sobrepasan este límite de diciembre a marzo, pero sin sobrepasar los 2 m/s. cabe hacer notar que el viento adquiera su mayor fuerza en los meses de febrero, marzo y diciembre, meses con dirección de viento muy variable.

Frecuencia

La gráfica de frecuencias medias anuales muestra que la predominancia del viento se da en el rango Noroeste, noreste. presentándose como predominante el viento del norte.. no obstante hay que notar que el porcentaje de calmas es mayor que el de cualquier dirección del viento, llegando a 22% el promedio anual.

Dirección o predominancia mensual.

En las rosas de viento mensuales se observan distintos comportamientos del viento a lo largo del año.:

Enero. En el mes de enero se un amplio rango de dirección, que va desde el NO hasta el E.

Febrero. El rango predominante es entre N y E, sin embargo se presentan vientos del S y O.

Marzo. Es el mes con los vientos mas variables, prácticamente pueden llegar de cualquier dirección.

Abril	}	Poco a poco los viento se estabilizan dentro del rango N - N E
Mayo		
Junio.		

Julio	}	El viento se inclina hacia el rango NO - N
Agosto		
Septiembre.		

Octubre	}	Sigue la predominancia NO – N , pero se amplía un poco hasta el NE
Noviembre		
Diciembre		la dirección del viento vuelve a ser variable, dentro del rango NE SE pero con vientos NO y S.
Anual.		El rango dominante promedio anual es desde el NO hasta el NE.

El rango de calmas oscila entre 11.1 % y 33.3%. Curiosamente es extremo de las calmas se presenta en los dos meses con mayor variabilidad del viento. Febrero el mas con direcciones de viento muy variables, pocas calmas y alta velocidad. Diciembre con vientos variables en dirección, alta velocidad pero con alto porcentaje de calmas.

7.4 Análisis mensual y anual

Parámetros interrelacionados.

Triángulo de Evans - Temperatura y Oscilación

De acuerdo al triángulo de confort de Evans, de noviembre a febrero las condiciones de temperatura y oscilación están totalmente fuera de confort. Marzo y octubre se encuentran dentro del confort de exteriores y de abril a septiembre las condiciones son adecuadas para circulaciones interiores. No obstante esto, En ningún momento de tienen condiciones adecuadas de confort para actividades sedentarias o nocturnas.

Debido a las altas oscilaciones diarias, las estrategia básica que se recomienda es la inercia térmica de los materiales. Debido a las bajas temperaturas medias se recomienda la ganancia solar, tanto directa como indirecta. Sólo de Julio a Septiembre la inercia térmica no es muy requerida; siendo la ganancia solar la estrategia básica. Esto coincide con que éstos son los meses con mayor precipitación.

Índice ombrotérmico – Temperatura y precipitación

Por tratarse de un clima con régimen de lluvias de verano y un porcentaje de precipitación invernal menor a 10.2 la relación de escalas entre temperatura y precipitación es la de $28 \text{ mm} = 0^\circ \text{C}$. De tal forma la época húmeda del año está comprendida entre finales de mayo y finales de octubre. El resto del año existe déficit de precipitación y por lo tanto se clasifica como época seca.

Temperatura Efectiva Corregida – Temperatura humedad y viento

Considerando la temperatura máximas de cada mes y su velocidad media se encuentra que el efecto conjunto de la temperatura, la humedad y el viento, da como resultado las siguientes temperaturas efectivas corregidas:

		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
TBS (máxima)	°C	21.2	22.9	25.7	26.6	26.5	24.6	23.0	23.3	22.3	22.2	21.8	20.8
TBH	°C	12.7	13.6	15.4	16.2	16.8	16.5	15.8	16.2	15.5	14.8	13.9	12.9
TEC	°C	16.4	17.5	19.9	20.8	21.0	19.8	18.7	19.2	18.3	18.0	17.3	16.2
Veloc. Med. Viento	m/s	1.1	1.4	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	1.0	1.2

Dado que la zona de confort está comprendida entre los 19.9 °C y los 24 °C. la temperatura efectiva corregida está dentro de confort únicamente en los meses de marzo abril y mayo.

Índice de calor.

En la ciudad de México no existe ningún inconveniente o percepción molesta debido al efecto conjunto de la temperatura y humedad. Ya que de acuerdo al límite inferior de fatiga marcado por el Índice de calor, nunca se sobrepasan los 27 °C.

El índice de calor se emplea para temperaturas mayores a 26 ° C. En realidad los únicos casos por arriba de esta temperatura son abril y mayo. Como puede apreciarse en la tabla de abajo, la temperatura disminuye ligeramente por el efecto de la humedad.

Índice de calor

		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
TBS máxima	°C	21.2	22.9	25.7	26.6	26.5	24.6	23.0	23.3	22.3	22.2	21.8	20.8
HR mínima	%	32	29	27	28	32	40	45	46	47	42	38	36
Índice de calor	°C	24.6	24.7	25.6	26.1	26.2	25.5	25.1	25.2	25.0	25.0	24.9	24.9

Índice de viento frío

El índice de viento frío generalmente opera para temperaturas bajas y velocidades de viento mayores a 2 m/s. Como se aprecia en la tabla de abajo, la percepción térmica desciende durante el invierno debido al efecto del viento. En febrero, por ejemplo se cuenta con una temperatura mínima de 7.1 °C ; la percepción debida al viento de 2.4 m/s será de 5.3 °C.

Índice de viento frío

		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
TBS mínima	°C	5.8	7.1	9.2	10.8	11.7	12.2	11.5	11.6	11.5	9.8	7.9	6.6
Veloc. Max. Viento	m/s	1.8	2.4	1.9	1.5	1.2	1.3	1.4	1.1	0.9	1.0	1.5	2.3
IVF	°C	5.7	5.3	8.9	11.6	13.5	13.6	12.6	13.7	14.4	12.5	8.9	5.1

Tablas de Mahoney**TABLAS DE MAHONEY**

		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	anual
Grupo de Humedad		3	3	2	2	3	3	4	4	4	3	3	3	3

Confort diurno

Rango superior	°C	27	27	29	29	27	27	25	25	25	27	27	27	27
Rango inferior	°C	21	21	22	22	21	21	20	20	20	21	21	21	21

Confort nocturno

Rango superior	°C	21	21	22	22	21	21	20	20	20	21	21	21	21
Rango inferior	°C	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14

Requerimiento Térmico diurno		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	F	0
Requerimiento Térmico nocturno		F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F

INDICADORES DE MAHONEY

Ventilación esencial	H1													0
Ventilación deseable	H2							1	1	1				3
Protección contra lluvia	H3							1	1					2
Inercia Térmica	A1	1	1	1	1	1	1				1	1	1	9
Espacios exteriores nocturnos	A2													0
Protección contra el frío	A3												1	1

De acuerdo a los criterios definidos por Mahoney se observa que se presentan a lo largo del año 3 distintos grados de humedad: marzo y abril grado de humedad (2) medio-bajo (30-50%); julio, agosto y septiembre humedad (4) alta (>70%); y el resto de los meses humedad (3) media-alta (50-70%).

Los rangos de confort varían de acuerdo a los distintos grados de humedad de acuerdo a la tabla. Se puede observar que durante todo el año no se presentan requerimientos térmicos diurnos excepto por el mes de diciembre, dado que la temperatura máxima es inferior a los 21 °C. De acuerdo a la frecuencia de cada uno de los indicadores, Mahoney da las siguientes recomendaciones de diseño:

Orientación norte-sur (eje largo E-O), configuración compacta, habitaciones en doble galería, ventilación temporal o selectiva, ventanas pequeñas (entre el 20 y 30% con respecto al muro);

ventilación cruzada a nivel de los ocupantes, sombreado total y permanente (excepto diciembre), ofrecer protección contra la lluvia, materiales constructivos, en muros y techumbres, masivos que ofrezcan un retardo térmico mayor a 8 horas.

Viento y precipitación.

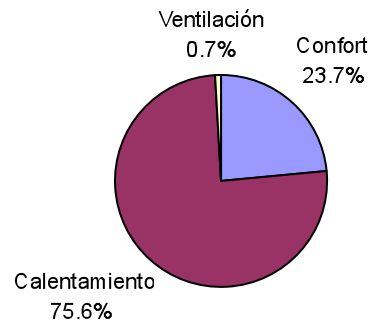
El ángulo de lluvia para cada uno de los meses de acuerdo a la velocidad terminal de caída de las gotas de lluvia y la velocidad del viento se muestra en la tabla. La velocidad media del viento más elevada se da en marzo (1.9 m/s), por ello el ángulo de lluvia para este mes es el menor (70°). También en este mes el viento es multidireccional, por lo tanto el ángulo de diseño de dispositivos de protección contra la lluvia es de 70° y es aplicable para a cualquier orientación de fachada.

		Ángulo de lluvia											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
lluvia		mod.	mod.	Int.	Int.	Int.	Int.	Int.	Int.	Int.	Int.	Mod.	Int.

Diam prom. de gotas	mm	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	2.1	2.1	2.1	2.1	1.5	1.0	1.5
Veloc. Caída	m/s	3.9	3.9	5.4	5.4	5.4	6.8	6.8	6.8	6.8	5.4	3.9	5.4
Veloc. Med. Viento	m/s	0.7	0.9	1.9	0.9	1.2	1.1	0.9	0.9	0.8	1.0	0.9	0.8
Ángulo de lluvia	grad	79.9	77.1	70.6	80.5	77.5	80.8	82.4	82.4	83.2	79.5	77.1	81.6

Carta Bioclimática – Estrategias de Diseño-

		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Confort	%	6.8	16.1	33.3	37.0	37.5	38.3	28.8	30.5	23.0	19.1	12.6	4.2	23.7
Calentamiento	%	93.2	83.9	66.7	60.2	56.3	61.7	71.2	69.5	77.0	80.9	87.4	95.8	75.6
Ventilación	%	0.0	0.0	0.0	2.8	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
Humidificación	%	0.0	0.0	0.0	2.8	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
Sombreado	%	6.8	16.1	33.3	39.8	43.8	38.3	28.8	30.5	23.0	19.1	12.6	4.2	24.4



Carta Bioclimática

La carta Bioclimática define básicamente cinco estrategias o zonas: confort, calentamiento, ventilación, humidificación y sombreado. La estrategia de diseño básica para la ciudad de México es el calentamiento, ya que su requerimiento asciende a más del 75% del tiempo, con una radiación máxima necesaria de casi 490 W/m^2 en enero; y una mínima de 250 W/m^2 en las madrugadas de junio.

El 23.7% del tiempo se tienen condiciones de confort, mientras que se requiere de ventilación tan solo el 0.7% en los meses de abril y mayo, sin embargo la ventilación requerida es mínima ya que se soluciona con apenas 0.3 m/s. En estos dos meses también se requiere ligeramente de humidificación, no llegando a 1 g/kg de aire.

En este caso, para la definición los porcentajes de estrategias, la ventilación es igual a la humidificación, mientras que el sombreado será igual al confort más la ventilación, es decir que la estrategia de sombreado se da a partir de la base inferior de la zona de confort.

Diagrama Psicrométrico

En este caso se utilizó el diagrama psicrométrico con las zonas de estrategias propuestas por S. Szokolay¹³⁷. En lugar de las zonas originalmente propuestas por Givoni¹³⁸. De acuerdo a este diagrama coinciden con la carta Bioclimática; es decir se requiere en un 75% de calentamiento, un 0.7% de ventilación en los meses de abril y mayo, mientras que el 24% del tiempo las condiciones son confortables.

Las temperaturas mínimas del mes de enero se encuentran por debajo de la zona de calentamiento pasivo, por lo que, en este caso, se requerirá de calefacción activa o convencional. (0.2%)

El 0.7% de requerimientos de ventilación coincide con la estrategia de masa térmica y de enfriamiento evaporativo. También se observa que si se desplaza la zona de confort con base en la temperatura neutra de verano, los requerimientos de ventilación desaparecen, puesto que estos puntos incidirían dentro de la zona de confort para esta época. De lo cual se deduce que prácticamente la única estrategia de diseño en la ciudad de México es el calentamiento.

¹³⁷ Szokolay, Steven & Docherty, Michael. *Climate Analysis*. PLEA. The University of Queensland. Australia. 1999

¹³⁸ Givoni. Bsruch. *Man Climate & Architecture*. Applied Science Publishers, London, England. 1981

Temperaturas Horarias

De acuerdo al análisis de las temperaturas horarias, se tienen condiciones de confort el 23.6 % del tiempo. En la época calurosa (marzo abril y mayo) el confort se da entre las 12 y 20 horas, sin embargo se presentan temperaturas por arriba del confort, entre las 14 y 17 horas, las cuales representan el 3.8 % del tiempo. En el verano se cuenta con condiciones de confort entre las 13 y 19 horas. Mientras que en diciembre y enero sólo se tienen cuatro horas de confort, (entre las 14 y 17 horas). Las temperaturas por debajo de la zona de confort representan el 72.6% del tiempo.

En general se puede decir que todas las actividades nocturnas se realizan con temperaturas bajas. Durante la mañana, prácticamente hasta las 11 o 12 del día las temperaturas también serán bajas; Mientras que las tardes son en general confortables, con excepción de los tres meses con el ligero sobrecalentamiento ya citados. En el caso mas crítico (abril) el sobrecalentamiento excede a la zona de confort en 1.7 ° C ; Mientras que las bajas temperaturas disminuyen hasta en 14.1 °C por debajo del límite inferior de confort (enero).

Humedades horarias

Considerando un rango entre 30% y 70% de humedad como permisible, se tiene que en la ciudad de México el 65.3% del tiempo se tienen condiciones higrométricas adecuadas, estas se dan prácticamente a partir de las 10 horas hasta las 23 o 24 hr.

Como es evidente, las humedades mas elevadas se presentan cuando las temperaturas son mínimas, es decir alrededor de las 6:00 am. y representan el 31.3% del tiempo. Las humedades mas bajas se ubican en las horas de mayor calor. Sólo en marzo, abril y mayo, la humedad desciende por debajo de los 30%. Esto sucede entre las 14 y 17 horas. Cabe señalar que en abril y mayo no se presentan humedades superiores al 70% a ninguna hora del día.

Radiación horaria.

Se incluye en este análisis la radiación solar teórica horaria, con el fin de determinar las horas teóricas de insolación máxima posible con radiación directa mayor a 120 W/m^2 . De octubre a febrero se presentan 9 horas de radiación total con más de éste límite mientras que el resto del año son once las horas que sobrepasan los 120 W/m^2 . En el caso de la radiación directa todos los meses presentan 9 horas a excepción de noviembre y diciembre con 7 horas.

Vientos horarios

Se presentan las tablas de vientos horarios de enero, marzo, junio y diciembre, meses que corresponden a los solsticios y equinoccios pero que, además representan las condonantes típicas de los vientos de la ciudad de México.

Marzo.

Se observa un patrón típico de los vientos. En este mes de marzo las calmas representan el 33.3%, sin embargo el 82% de éstas se presentan durante las horas de la mañana, predominando la ausencia de viento entre las 0 y 9 horas. Realmente la actividad de viento empieza a partir de las 10; incrementándose hasta tener su máxima actividad alrededor de las 15 horas, cuando la temperatura es máxima.

A pesar de que la dirección predominante es ONO, se observan vientos de todas direcciones, 7 de ellas con más de 5% de frecuencia. Los vientos registrados como variables alcanzan los 6.9%.

En cuanto a la velocidad, se observa el mismo patrón que en las direcciones, los vientos de la mañana son débiles y alcanzan su máxima velocidad o fuerza alrededor de las 15 horas. La velocidad media es de 1.2 m/s, mientras que la del viento dominante es de 1.7 m/s, excediendo ligeramente el límite para espacios interiores de 1.5 m/s. Se puede notar que el viento máximo es de 10.2 m/s, sin embargo es más bien un evento extraordinario, ya que generalmente no se excede los 3 m/s. La moda o el valor que se presenta con mayor frecuencia es 0.5 m/s.

Junio.

En junio el comportamiento del viento también presenta predominio de calmas durante la mañana, aunque no de manera tan marcada como en marzo; aquí las calmas mensuales son de 32.8% , de las cuales el 68% se presentan entre las 0 y 9 de la mañana. Se observa la presencia de un viento más dominante dentro del rango N – ENE. Con predominancia del NNE. Se observa sin embargo un viento de dirección NNO de mucha importancia.

Las velocidades máximas se presentan alrededor de las 15 horas. Las velocidades media y dominante se dan en los 0.9 m/s. Dentro del rango de permisible. Mientras que la moda es de 0.5 m/s.

Septiembre.

Septiembre sigue un comportamiento muy similar a junio, Las calmas representa el 26.9% y de éstas el 78% se encuentran ubicadas en las primeras horas de la mañana (entre 0 y 10 hr). El patrón de las frecuencias muestra que la predominancia del viento se hace mas marcada en la dirección NNE.

La mayor actividad y fuerza del viento se presentan por la tarde, alrededor de las 17 hr. Las velocidades media y dominante se presentan entre 1 y 1.1 m/s; velocidades adecuadas para espacios interiores. La moda se conserva en 0.5 m/s.

Diciembre.

Diciembre es el mes con mas presencia de calmas (51.9%) y de éstas, el 66% corresponden a las horas de la mañana. La actividad del viento se incrementa ligeramente durante la tarde pero se desvanece nuevamente por la noche. El viento se presenta en muchas direcciones, en este caso 9 direcciones distintas superan un valor de frecuencias mayor a 5%. A pesar de ello, el viento se presenta con predominancia NNO.

Igual que la actividad, la fuerza del viento es escasa. La velocidad media es de 0.9 m/s, la dominante de 1.1 m/s y la moda, al igual que en todos los casos se conserva en 0.5 m/s.

Es necesario hacer notar que es complicado y laborioso promediar datos de vientos horarios para presentarse de manera normalizada (promedio de 10 – 30 años). Generalmente este análisis se realiza con los datos horarios correspondientes a un año; en este caso 1981. Aunque el comportamiento del viento es relativamente uniforme a lo largo del tiempo hay que tomar éste análisis como puntual y con esta aclaración presente.

Temperaturas horarias en gráfica solar

Para poder graficar las temperaturas en la gráfica solar se dividió por semestres graficadas con líneas correspondientes al día primero de cada mes. Se observa como las temperatura bajas, sobrepasan al eje norte-sur más allá de las 12 del día; con excepción de los meses más calurosos de marzo abril y mayo. En estos meses calurosos las temperaturas que sobrepasan la zona de confort se ubican en la orientación poniente.

La orientación óptima en la ciudad de México será aquella que no permita la entrada de los rayos solares directos en las horas de sobrecalentamiento. Por ello la orientación mas favorable será la Sureste (S 40° E o S 45° E). Esta orientación puede cargarse más hacia el sur, incluso llegando a ser sur franco, siempre y cuando se utilicen dispositivos de control solar que bloqueen el paso del sol en las horas de sobrecalentamiento o incluso aquellas que se encuentran en confort. Como se vio en los análisis anteriores se recomienda el sombreado a partir de la zona baja de confort, ya que de permitir la penetración solar, las temperaturas podrían elevarse incrementando el sobrecalentamiento. Es por ello que el calentamiento directo debe darse en el rango Noreste – Sur. Sin embargo, debido a que en el segundo semestre no existen zonas de sobrecalentamiento y a que las temperatura bajas se extienden mas allá de medio día, es importante propiciar el calentamiento indirecto, principalmente a través de los muros de la construcción. La orientación propicia para llevar a cabo este calentamiento indirecto está comprendida entre el rango Suroeste - Noroeste.

Debido a lo anterior, se puede recomendar que los espacios de uso diurno se ubiquen en el rango Este-Sur; los de uso vespertino entre en el rango Sur-Suroeste; Los espacios de uso nocturno en el rango Suroeste - Oeste (con ventanas orientadas al sur y captación indirecta al poniente); y los espacios de servicios o con bajos requerimientos de confort, dentro del rango Noroeste – Noreste. Estas recomendaciones desde el punto de vista térmico, deben contrastarse en función del viento. En este caso de la ciudad de México, no existen vientos con direcciones diferenciadas estacionalmente, principalmente entre el invierno y la primavera (época calurosa). En la mayoría de los casos el viento prevaleciente se encuentra comprendido entre en Noroeste y el Noreste. De tal forma que las aberturas y dispositivos de ventilación deben diseñarse de tal manera que permitan la ventilación en primavera y restringirla en el invierno. Ya que la estrategia de ventilación no es fundamental en este clima, los excesos de calor pueden controlarse adecuadamente con la inercia de los materiales constructivos (relativa masividad); y de esta forma reducir la dependencia de la ventilación como estrategia de enfriamiento.

Caracterización climática mensual

Enero

A pesar de que su temperatura media es igual a la de diciembre, Enero es el mes más frío del año, ya que la temperatura mínima llega a 5.8 °C y las extremas pueden llegar a -9.5 °C. Es el único mes del año en que las estrategias pasivas de climatización no son suficientes y por ello deberá recurrirse a calentamiento activo o convencional; o incrementando de manera importante el arropamiento.

Esta condición térmica se debe principalmente a la declinación solar, ya que, a pesar de contar con buena insolación y de ser el mes con mayor número de días despejados, su radiación es media y el viento es frío debido a que se trata de un mes de pleno invierno.

Los requerimientos de calefacción son elevados, a pesar de que las temperaturas máximas alcanzan a entrar ligeramente en la zona de confort.

Los vientos dominantes provienen del Este aunque pueden fácilmente ampliarse hasta el Norte o Noroeste, esto principalmente con la entrada de frentes fríos.

La precipitación es baja, la humedad relativa media y el índice ombrotérmico seco, por lo que se presenta una gran amplitud (oscilación) de temperatura diaria. Se pueden presentar fácilmente heladas e incluso podría, eventualmente llegar a granizar o nevar, ya que las temperaturas pueden llegar debajo de 0°C.

Febrero

Este mes es similar a Enero, sin embargo las temperaturas generalmente no descienden tanto como el primer mes. La radiación se incrementa ligeramente, ya que es el mes con menor número de días nublados, de tal forma que los requerimientos de calefacción se pueden satisfacer por medios pasivos. Los vientos conservan la misma dirección dominante.

En este mes empieza a disminuir el porcentaje de humedad, llegando a presentarse por debajo del 30%. Es el mes con las menores precipitaciones y por lo tanto el mes con menor índice ombrotérmico. Aunque menor, sigue existiendo la posibilidad de heladas, granizo o nevada.

Marzo

En este mes termina el invierno y comienza la primavera. La temperatura aumenta, siendo éste, es el primer mes en que la temperatura máxima sobrepasa la zona de confort (pero no en la carta Bioclimática ni en la Psicrométrica). Es el mes con mayor radiación solar y con alta insolación, siendo los días predominantemente despejados. También es el mes con mayor oscilación térmica. La precipitación continúa siendo baja.

Este es el primer mes en donde el efecto conjunto de la temperatura, humedad y viento es favorable, ya que la Temperatura efectiva corregida se encuentra dentro de la zona de confort.

Aquí se presentan vientos muy variables y con la intensidad o fuerza más elevada. Aunque la dirección dominante es del Oeste, en realidad pueden llegar de cualquier otra dirección. Disminuyen grandemente la posibilidad de heladas, desaparece la de nevadas, pero se baja conserva la posibilidad de granizo.

Abril

Abril es el mes donde se presentan las temperaturas más elevadas. Por las tardes se encuentra francamente fuera de la zona de confort con requerimientos de ventilación natural como estrategia de enfriamiento. La radiación sigue siendo alta, aunque empiezan a presentarse los días medio nublados y a descender las horas de insolación. La precipitación continúa siendo baja. En este mes los días grado generales son iguales a cero, es decir que no se presentan requerimientos de calentamiento y aunque si se presentan día grado locales, los requerimientos son bajos.

El viento se define dentro del rango Noroeste – Noreste. La posibilidad de heladas y nevadas desaparece mientras que la posibilidad de granizo es baja.

Mayo

Mayo es el segundo mes con temperaturas elevadas fuera de la zona de confort y por lo tanto con requerimientos de ventilación. La nubosidad aumenta ligeramente, comienzan las lluvias y por lo tanto la humedad se incrementa entrando en el rango medio. Desde marzo hasta mayo la temperatura efectiva se encuentra dentro de confort. Los días Grado generales se mantienen en cero.

Los vientos conservan su dirección dominante dentro del rango noroeste- noreste. Se presenta la posibilidad de tormentas eléctricas y la posibilidad de granizadas aumenta.

Junio

En este mes termina la primavera y comienza el verano. Las temperaturas ya no sobrepasa la zona de confort, la oscilación térmica disminuye. De acuerdo al índice ombrotérmico es propiamente cuando empieza la época húmeda y lluviosa del año. El cielo está predominantemente nublado y por lo tanto la insolación y la radiación disminuyen. La temperatura efectiva corregida estará dentro de confort sólo a velocidades del viento bajas.

Aumenta la posibilidad de tormenta eléctrica y se conserva la de granizadas.

Julio

La temperatura desciende ligeramente. La nubosidad aumenta y la lluvia incrementa su intensidad pasando a la clasificación de precipitación alta, de hecho julio es el mes con las precipitaciones mas altas de todo el año. Por lo mismo es el mes con la mayor incidencia de tormentas eléctricas y de granizadas. La radiación e insolación disminuyen a sus niveles mas bajos. El viento cambia si dirección ligeramente hacia el noroeste.

Agosto

Se trata de un mes muy parecido a julio, la temperatura se eleva un poco, la precipitación desciende ligeramente, sin embargo es el mes que presenta la humedad relativa más elevada, llegando hasta el 96 %. Los vientos se conservan igual, También la posibilidad de tormenta eléctrica y granizadas; sin embargo aquí se presenta el inicio de la temporada de huracanes y tormentas ciclónicas, por lo que su influencia será significativa en el comportamiento climático.

Septiembre

En septiembre, tanto la temperatura como la intensidad de la lluvia bajan ligeramente. Sin embargo continúan los días predominantemente nublados, una baja insolación y radiación solar. El viento dominante viene del norte, Se conserva la alta posibilidad de tormenta eléctrica y granizadas. Septiembre es el mes con mayor presencia de huracanes, por lo que la influencia de este meteoro se intensifica. En este mes termina el verano y comienza el otoño.

Octubre

En este mes la temperatura disminuye muy poco con respecto a Septiembre, sin embargo la precipitación baja considerablemente. Los días siguen siendo predominantemente nublados sin embargo la insolación pasa a ser considerada como media. De acuerdo al índice ombrotérmico octubre es el último mes húmedo o lluvioso. Disminuyen mucho las tormentas eléctricas y las granizadas; aunque permanece la influencia ciclónica y de huracanes..

Noviembre

En noviembre las temperaturas pasan a ser frías, pudiendo llegar a presentarse temperaturas por debajo de 0 °C. Predominan los días medio nublados, y la insolación es alta. La precipitación disminuye considerablemente, llegando apenas a los 12.1 mm, por lo que se clasifica ya como un mes seco o de baja precipitación. El viento dominante es del Noroeste. Desaparece la influencia ciclónica y de huracanes, pero aparece nuevamente la posibilidad de heladas y granizo.

Diciembre

Las temperaturas medias son tan bajas como enero, sin embargo con menor oscilación. Las temperaturas pueden descender más allá de 0 °C pero no pasa de -1.5 °C. La precipitación disminuye casi tanto como el mes más seco (febrero) llegando a 6 mm.

En este mes disminuye considerablemente la actividad del viento, es el mes con mayor número de calmas (33.3%), sin embargo se presenta con direcciones muy variables, aunque con poca fuerza o velocidad.

Los días son predominantemente nublados, con insolación media y buena radiación solar. Es un mes frío con altos requerimientos de calefacción y con presencia de heladas. Aquí termina el otoño y empieza el invierno.

Caracterización climática anual

La ciudad de México presenta un clima semi-frío, con temperaturas bajas durante las noches y las mañanas y ligeramente confortables por las tardes. Durante la primavera las temperaturas máximas de la tarde son un poco calurosas, pero se pueden solucionar fácilmente con ventilación o masividad, ya que la oscilación diaria es alta.

Se presenta una época definida de lluvias entre julio y octubre. Éstas son altas o intensas en julio y agosto y pueden llegar acompañadas de descargas eléctricas. Los tres primeros meses del año son predominantemente despejados con insolación alta, mientras que en la época de lluvias obviamente son nublados.

Durante la primera parte del año, entre enero y abril, el viento dominante se carga hacia el este y noreste, mientras que en el resto del año se inclina hacia en noroeste y norte. Se presentan dos meses con vientos variables: marzo y diciembre.

Se llegan a presentar heladas en la época fría del año (invierno), y aunque es muy poco frecuente puede llegar a nevar. Lo que si es claro es que fácilmente se pueden tener temperaturas por debajo de los 0 °C principalmente en el mes de enero.

A pesar de su lejanía con los litorales y de su altitud, el clima se ve influenciado por las tormentas ciclónicas y los huracanes que se presentan entre agosto y octubre.

definición de estrategias básicas de diseño

La principal estrategia de diseño para la ciudad de México es sin duda el calentamiento, el cual deberá propiciarse tanto de manera directa como indirecta. Por lo tanto será necesario aprovechar al máximo las ganancias solares directas a través de los acristalamientos, durante las primeras horas de la mañana; aprovechando las ganancias indirectas por las tardes. Así mismo las ganancias internas deben aprovecharse para el calentamiento interno.

Para evitar las pérdidas del calor captado o generado, deberá tenerse cuidado con las pérdidas convectivas, es decir pérdidas por infiltraciones de aire frío o fugas del aire interior. Lo cual implica un buen diseño de la ventanería y puertas, elementos que deberán brindar un buen sellado, sobre todo durante la noche.

Prácticamente durante todas las noches, la humedad relativa es elevada, por lo que deberá restringirse el uso de vegetación en los espacios interiores de uso nocturno. Por el contrario el uso de la vegetación puede resultar favorable en los espacios de uso vespertino, ya que alrededor de las 15 horas de la primavera la humedad es ligeramente baja.

Ya que durante los meses de marzo, abril y mayo se presenta un ligero sobrecalentamiento, será necesario para estos meses el uso de la ventilación natural. Sin embargo esta estrategia deberá ser cuidadosamente controlada para el resto del año, ya que al efecto de enfriamiento que ofrece aunado al de la humedad, las temperaturas efectivas pueden hacer disminuir la sensación térmica.

Debido a las grandes oscilaciones térmicas diarias, es conveniente usar masividad en los elementos constructivos, aprovechando así su inercia térmica, tanto el retardo del flujo conductivo, como su amortiguamiento.

VIII

CONCLUSIONES

8. Conclusiones

El trabajo presentado abarca dos grandes temas, por un lado el aspecto metodológico y por otro el análisis climático. Aparentemente podrían parecer temas distintos abordados en una misma tesis, sin embargo, como primer paso fue necesario definir una estructura del proceso integral del diseño bioclimático, para posteriormente hacer una propuesta particular del análisis climático. De esta manera el análisis climático no aparece aislado o desvinculado de una estructura metodológica global.

Si bien es cierto que no existe una teoría específica del diseño Bioclimático, éste se basa en la teoría general de la arquitectura, incorporando otras disciplinas de las ciencias básicas y aplicadas, así como de las ingenierías. Esto implica que la información necesaria para abordar un problema esta dispersa y muchas veces es de difícil acceso.

La intención al realizar este trabajo, no fue inventar o descubrir nada nuevo, sino simplemente el tratar de sistematizar la información y estructurar los procesos de análisis y síntesis de la información. Para ello se utilizan las herramientas propuestas por investigadores de reconocido prestigio, estructuradas en una metodología que permita generar, analizar y sintetizar la información disponible, y sobre todo poder traducirla en estrategias generales y conceptos de diseño.

Al tratarse de un proceso integral y con interrelaciones múltiples, algunas de desarrollo simultáneo y otras lineales, evidentemente quedan algunos aspectos de lado o no son abordados con suficiente profundidad. Tal podría ser en caso del confort, la geometría solar, o la transferencia de calor en las edificaciones, aspectos íntimamente relacionados con los meteoros climáticos y la arquitectura. Sin embargo el objetivo no era desarrollar puntualmente todos los componentes de la metodología propuesta, sino únicamente uno de ellos: el “Análisis Climático”.

Desde luego las estrategias de diseño derivadas del análisis climático que aquí se presenta, deberán ser detalladas y reforzadas por análisis de otros campos de la arquitectura Bioclimática. Además de las condicionantes particulares que imponga el problema específico por resolver, el género de edificio y particularmente el usuario.

Una de las aportaciones del trabajo es ofrecer una metodología estructurada de tal forma, que al ir abordando cada una de sus etapas, permita alcanzar los objetivos deseados de manera lógica. De esta forma el proyecto surgirá con base en las condicionantes ambientales y en los requerimientos particulares del usuario. Se presenta también un panorama integral del funcionamiento de las esferas terrestres y particularmente de los elementos y factores del clima, se describe cada uno de ellos, pero sobretodo, se presentan los algoritmos para poder calcularlos o estimarlos. Esto es particularmente importante debido a que en muchas ocasiones no se cuenta con datos o éstos son insuficientes o poco confiables.

El análisis climático se define en varios sentidos, primero de manera individual (paramétrica) y después de manera interrelacionada o integral. La propuesta no se queda en lo descriptivo, sino que aporta elementos suficientes para ser analítica y sintética. Aunque se presentan distintas herramientas para el análisis, todas ellas son complementarias. El análisis se concluye con una matriz climática y una gráfica resumen que permiten evaluar y sintetizar el comportamiento del clima, caracterizar las condicionantes ambientales y definir de manera clara las estrategias básicas de diseño. El trabajo es complementado con varias hojas de cálculo automatizadas que simplifican el procesamiento de datos, facilitan su análisis y ayudan a establecer criterios de diseño. Esto será particularmente valioso para diseñadores con conocimientos limitados en el campo de la arquitectura bioclimático, pero que están interesados en incorporar los conceptos ambientales a sus proyectos.

La metodología propuesta y el proceso de análisis climático se ofrecen como herramientas útiles sobre todo desde el punto de vista didáctico. Es una pretensión del trabajo apoyar a los alumnos de arquitectura a entender la relación que existe entre el clima y la arquitectura. Que el “análisis” no se quede en la simple recopilación de datos y su graficación, ni que éste sea archivado a la hora de proyectar. Sino realmente que se convierta en el elemento sustantivo y generador de los conceptos arquitectónicos. El espacio, la forma, las proporciones... así como los elementos tecnológicos, sistemas constructivos, materiales, instalaciones, etc. deben estar vinculadas a sus condicionantes climáticas y ambientales; siempre con miras a los objetivos últimos: Crear condiciones de bienestar y confort para que los ocupantes puedan desarrollarse integralmente y desarrollas sus actividades de manera óptima, así como hacer un uso eficiente de la energía y de los recursos disponible.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, Wladimir *Vivienda y Clima*, Ediciones Nueva Visión. Buenos Aires, Argentina, 1976.
- Alexander, Christopher. *Ensayo sobre la síntesis de la forma*. Ediciones Infinito, Buenos Aires, Argentina, 1966
- Alexander, Chistopher. *La estructura del medio ambiente*. Editorial futura, 1976.
- . *Anuario del Observatorio Astronómico Nacional 1986* UNAM. Instituto de Astronomía, México, D.F. 1985
- . *Anuario del Observatorio Astronómico Nacional 2001* UNAM. Instituto de Astronomía, México, D.F. 2001
- Arens, et al. *A New Bioclimatic Chart for Environmental Design*. Proceedings of building Energy Management Conference (ICBEM). Provoa de Varzim. Pergamon Press, New York. USA. 1980
- A.S.H.R.A.E. *A.S.H.R.A.E. Handbook Fundamentals*. American Society of Heating Air Conditioning Engineers Inc. Atlanta, U.S.A. 1993.
- Banham, Reyner *La Arquitectura del entorno bien climatizado*. Ediciones Infinito, Buenos Aires, Argentina, 1975.
- Barry, R.G. *Atmosphere, Weather and Climate*. Mathuen, London, England. 1968 (Traducción al español por Editorial Omega, Barcelona España)
- Battan, Louis J. *Fundamentals of Meteorology*, Prentice Hall Inc. New Jersey, USA. 1979
- Bertran de Q. Miguel *Con el Sol en la Mano*. U.N.A.M., México, DF. 1982
- Bowen, Arthur. *Design Guidelines on Vertical Airflow in Buildings and Urban Areas*. Memorias del "Plea-84, México". Pergamon Press, New York, USA, 1984.
- Bowen, Arthur. *Wind Environments in Buildings and Urban Areas*. Department of Architecture and Planning University of Miami, Coral Gables. Florida, U.S.A. 1978.
- Bras, Rafael *Hydrology, An Introduction to Hydrologic Science*. Addison-Wesley Publishing Co. New York. USA, 1990
- Brasseur, Guy, et al. *Atmospheric Chemistry and Global Change*. Oxford University Press, Oxford, England. 1999
- Broadbent, Goeffrey. *Diseño Arquitectónico*. Gustavo Gili. Barcelona España. 2ª Ed. 1982
- Buck, Charles. *Fire Weather, Agriculture Handbook 360*. Department of Agriculture - Forest Service U.S.A. 1970
- Chermayeff, Serge y Alexander, Christopher *Comunidad y privacidad*, Ediciones Nueva Visión, Argentina 1963
- De Anda, Manuel *Cálculo Térmico*. Asociación Mexicana de Empresas del Ramo de Instalaciones para la Construcción, A.C. México, D.F. 1981
- De Hoyos C. Gilberto *Cuadrantes Solares*. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. México, D.F. 1985
- Ekins, Paul *Riqueza sin Límites*. Editorial EDAF, S.A. Madrid, España, 1992

- Evans, B.H. *Research Report 59*, Texas Engineering Station, College Station, Texas. USA. 1957
- Evans, Martín *Housing, Climate and Comfort*. The Architectural Press. London, England. 1967.
- Evans, Martín *Técnicas Bioclimáticas de Diseño: Las tablas de confort y los Triángulos de confort*. Memorias de COTEDI 2000 (conferencia Internacional sobre Confort y Comportamiento Térmico de Edificaciones) Maracaibo, Venezuela. Junio 2000
- Ferreiro L. Héctor *Geometría Solar*. Apuntes de la Universidad Iberoamericana, México, D.F. 1985
- Fuentes F., Víctor
Figueroa, Anibal *Criterios de adecuación Bioclimática en la Arquitectura*. I.M.S.S. 7300, México, DF. 1991
- García, Enriqueta *Apuntes de climatología*. Talleres Larios. México, DF. 1986
- García, Enriqueta *Modificación al sistema de Clasificación Climática de Köeppen*. Talleres Larios. México, DF. 1988
- García, Enriqueta. et al. *Las Gráficas ombrotérmicas y los Regímenes Pluviométricos en la República Mexicana*. IX Congreso Nacional de Geografía, Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Guadalajara, Jalisco. México. 1983.
- García Ch, Roberto y
Fuentes F. Víctor *Viento y Arquitectura*. Editorial Trillas. México, D.F. 1995
- García Ch, Roberto y
Fuentes F. Víctor *Arquitectura y Medio Ambiente en la Ciudad de México*. UAM–A, México, D.F. 1995
- Givoni, Baruch *Man, Climate and Architecture*. Van Nostrand Reinhold., New York, U.S.A. 1981.
- Givoni, Baruch &
Milne, Murray and. *Architectural Design Based on Climate*. capítulo publicado en Watson, Donald. Energy Conservation Through Building Design. McGraw Hill, New York, USA 1979.
- Gutiérrez, Martín. *Cuarta Área del conocimiento - Modelo General del Proceso de Diseño*. UAM, 1988
- INEGI, SPP. *Cartas del Territorio Nacional y Síntesis Geográficas de los Estados*. México, D.F.
- INEGI, SPP. *Sistema Geodésico de Referencia*. INEGI. SPP. México.
- Iqbal, Muhammad *An introduction to Solar Radiation*. Academic Press New York, USA. 1983
- Jones, J. Christopher. *Métodos de Diseño*. Gustavo Gili, Barcelona, España, 1976
- Jones, J. Christopher. *The state-of-the-art in design methods. Into: Design Methods in Architecture*. Broadbent, Geoffrey and Ward, Anthony. Lund Humphries Publishers Limited. London, England, 1969
- Koeningsberger, et al. *Viviendas y Edificaciones en Zonas Cálidas y Tropicales*. Editorial Paraninfo. Madrid, España, 1977
- Landa, Horacio *Terminología de Urbanismo*. CIDIV. Indeco, México. 1976
- Larrouse *Diccionario Ilustrado de las Ciencias*, Larrouse. México, D.F. 1987
- Lacomba Ruth., et al. *Manual de Arquitectura Solar*, Editorial Trillas, México, D.F. 1990
- Leyva C. Armando *Principios Físicos de la Radiación Solar*. Memorias del curso de actualización en energía solar 1986. Laboratorio de Energía Solar del IIM de la UNAM, Temixco, Morelos, México, 1986
- Linsley, Ray *Hydrology for Engineers*. McGraw-Hill, Inc. New York, USA. 1982

- Olgyay, Víctor. *Design With Climate*. Princeton University Press. Princeton, U,S,A. 1963.
- Olgyay, Víctor y Aladar *Solar Control and Shading Devices*. Princeton University Press, Princeton U.S.A. 1963.
- Palmer, Chad *Humidity Formulas*. USA TODAY, Information Network.
- Park, Jack. *The Wind Power Book*. Cheshire Books, Palo Alto, California, USA. 1981.
- Pérez P. Jorge *El Sol nuestra estrella*, Información Científica y Tecnológica, Instituto de geografía de la UNAM, mayo 1984 Vol. 6 No. 92 México, D.F. 1984.
- Puppo, Ernesto y Puppo, Giorgio *Acondicionamiento Natural y Arquitectura* Marcombo Boixareu Editores Barcelona, España 1972
- Ramón, F. *Ropa, Sudor y Arquitectura*. Editorial Blume, Barcelona, España 1980.
- Riábchikov, A.M. *Estructura y Dinámica de la Esfera Geográfica*. Editorial Mir. URSS. 1976
- Rodríguez M., Luis. *Para una Teoría del Diseño*. UAM- A. Tilde. México
- Rodríguez V. Manuel *Temas Selectos I*. Apuntes del curso de especialización en Arquitectura Bioclimática. UAM-A. México. D.F. 1995.
- Rodríguez V. Manuel et al. *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*. Editorial Limusa SA de CV. México, D.F. 2001
- Saldaña, Ricardo *Energía Eólica*. Notas del curso ANES 2001. Asociación Nacional de energía Solar, San Luis Potosí, México. 2001.
- S.A.R.H. *Atlas del Agua de la República Mexicana*. S.A.R.H. México DF. 1976
- Schjetnan, Mario, et al. *Principios de Diseño Urbano Ambiental*. Editorial Concepto, S.A. México, 1984.
- S.M.N. *Normales Climatológicas*. Dirección General de geografía y Meteorología. Servicio Meteorológico Nacional. México, DF. 1976
- Steele, John *Gaia, la Tierra inteligente*. Círculo de Lectores, S.A. (cortesía de Ediciones Martínez Roca, S.A.) Colombia. 1992
- Strahler, Arthur N. *Modern Physical Geography*. Willey and Son. New York. U.S.A.
- Szokolay, Steven *Energía Solar y Edificación*, Editorial Blume, Barcelona, España, 1978
- Szokolay, Steven *Environmental Science Handbook*. Ed. The Construction Press, Ltd. Lancaster, England. 1980.
- Szokolay, Steven *Passive and low energy design for thermal and visual comfort*. Proceedings of the International conference on Passive and Low energy. Ecotechniques applied to housing (PLEA 84) Mexico. Pergamon Press, New York. USA, 1984
- Szokolay, Steven & Andris Auliciems *Thermal Comfort*. PLEA, University of Queensland, Australia 1997
- Szokolay, Steven *Solar Geometry*, PLEA, University of Queensland, Australia 1996
- Szokolay, Steven & Michael Docherty *Climate Analysis*. PLEA, University of Queensland, Australia 1999
- Szokolay, Steven. *Energetics in design - Passive and low design for thermal and visual comfort*. University of Queensland, Australia. 1984.

- Tahoria Cortés, Manuel *Tiempo y Clima*. Salvat Editores, S.A, Madrid, España. 1981
- Tedeschi, Enrico. *Teoría de la Arquitectura*. De. Nueva Visión, Buenos Aires, Argentina, 1977
- Tejeda, Adalberto *Programa de cálculo de la Humedad Relativa*. (Excel) Universidad Veracruzana, Jalapa. México.
- Tudela, Fernando *Ecodiseño*. U.A.M. Xochimilco, México. DF. 1982
- UNESCO *Manual on Sea Level Measurement and Interpretation*. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO.
- Villagrán G. José. *Integración del Valor Arquitectónico*. UAM-A. México, 1992
- Vitruvio, Marco Lucio. *Los Diez Libros de la Arquitectura*. Obra publicada por Editorial Iberia, S.A. Barcelona, España. 1955
- Watson, Donald. *Climatic Design*. Mc. Graw Hill Books. New York, U.S.A. 1990.
- Watson, Donald. *Energy Conservation Through Building Design*. McGraw Hill, New York, USA 1979.
- Yañez, Enrique. *Arquitectura, teoría, diseño y contexto*. Talleres de Litográfica México. 1984.
- Yeang, Ken *Proyectar con la Naturaleza*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, España. 1999

ANEXO 1

GLOSARIO

ADIABÁTICO. Significa literalmente sin intercambio de calor; en las masas de aire tienen lugar cambios adiabáticos de temperatura como resultado de los cambios de presión que las expande o las contrae. (5)

AIRE SECO. Mezcla de diversos gases, en ausencia de polvo y de vapor de agua, cuya proporción se mantiene constante hasta una altura aproximada de 20 Km. Los principales componentes son el nitrógeno y el oxígeno con una proporción del 78 y el 21 %, respectivamente, en el 1% restante se incluyen gases como: ozono, vapor de agua, anhídrido carbonico y algunos gases nobles (argón, radón, etc.). (1)

AIRE HUMEDO. Se denomina al aire que contiene vapor de agua. (1)

AIRE SATURADO. Es el aire que contiene la cantidad máxima de vapor de agua posible para una temperatura y una presión dadas (100% de humedad relativa). (1)

AIREACIÓN. Proceso en virtud del cual ocurre la renovación del aire (5). Ventilación (natural) por simple exposición al aire. (4)

ALBEDO. Factor de reflexión o grado en que una superficie refleja la luz (4); o sea la proporción de radiación incidente reflejada directamente por una superficie particular, acostumbra a expresarse en porcentajes.

ALTA PRESIÓN. Distribución del campo de presión atmosférica en donde el centro presenta una presión mayor que la que existe a su alrededor y a la misma altura; también denominada como Anticiclón. En un mapa sinóptico, se observa como un sistema de isobaras cerradas, de forma aproximadamente circular u oval, con circulación en sentido de las manecillas del reloj. Este fenómeno provoca subsidencia en la zona donde se posa, por lo que favorece tiempo estable. (1)

ALTITUD. Es la distancia vertical entre un punto situado sobre la superficie terrestre (o la atmósfera) y el nivel medio del mar. (1)

ALTURA. Es la distancia vertical entre dos puntos situados en diferentes posiciones. (1)

ANTICICLÓN. Circulación de aire alrededor de un área central de altas presiones, asociado normalmente con tiempo estable; la presión va elevándose paulatinamente según se forma el anticiclón y desciende cuando este decae. (1)

ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA. (Arquitectura, vida y clima) Arquitectura proyectada para funcionar de acuerdo con el clima (3). Cuyos objetivos fundamentales son: crear espacios que ofrezcan bienestar y confort a sus ocupantes permitiendo así su óptimo desarrollo y el de sus actividades; espacios que hagan un uso eficiente de la energía y los recursos; y que respeten al medio ambiente que los rodea integrándose a los ecosistemas tanto naturales como artificiales.

ATMÓSFERA (Esfera del aire). Esfera terrestre consistente en una masa gaseosa que envuelve a la Tierra, con espesor variable de varios cientos de kilómetros. Gracias a ella es posible la vida, ya que , además de proveer el oxígeno necesario para todas las especies, actúa como regulador térmico, equilibrando los flujos de energía solar y terrestre.

AURORA POLAR. Es un electrometeoro que se produce en las capas altas de la atmósfera en las latitudes polares. Se produce por el choque de partículas cargadas eléctricamente emitidas por el sol contra el campo magnético de la tierra. Cuando se presenta en el hemisferio norte se le llama Aurora Boreal, en el hemisferio sur se le llama Aurora Austral. (1)

AZIMUT (Acimut). Una de las coordenadas celestes para precisar la posición del Sol (o cualquier astro). Ángulo formado entre la proyección horizontal de rayo solar y el meridiano del lugar o eje norte-sur. (generalmente en el hemisferio norte se mide a partir del sur y puede tener valores hasta 180° Este o 180° Oeste) (3)

BIOCLIMA. Cada uno de los tipos de clima considerados en relación con su influencia acerca de los seres vivos. (4)

BIOCLIMATOLOGÍA. Disciplina científica que participa de la meteorología y de la biología y cuyo objeto es el estudio de la influencia de los factores climáticos sobre el desarrollo de los organismos vivientes. (4)

BIOSFERA. (Esfera de la vida) Parte de la esfera terrestre en donde se da la vida (animal y vegetal). (4). La biosfera está constituida por todos los organismos vivos junto con los ambientes con los cuales interactúan. De tal forma que parte de la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera, están involucrados en la biosfera.

BRISA DE MAR. Viento local persistente que fluye en el día, en las proximidades de las costas, desde el mar hacia la tierra, con velocidades máximas de 20 km/h. La causa básica de este flujo de viento es la diferencia del calentamiento entre la superficie del mar y de la tierra, por efecto de la radiación solar. (1)

BRISA DE TIERRA. (Terral) Viento débil que fluye durante la noche desde la tierra hacia el mar, se presenta en las zonas costeras como resultado del enfriamiento nocturno por radiación terrestre, que actúa más rápidamente sobre el suelo que sobre el mar. (1)

BTU (British Thermal Unit). Calor requerido para elevar la temperatura de una libra de agua de 59° a 60 °F (2)

CALMA. Es el registro de vientos menores a 2 nudos o la ausencia de todo movimiento perceptible del aire. (1)

CALIMA. Suspensión de partículas de polvo muy pequeñas en la atmósfera, lo suficientemente numerosas para dar al aire un aspecto opaco. Contribuyen a la coloración del crepúsculo. (1)

CALOR. Forma de energía que se manifiesta por el grado de actividad molecular de la materia. (3)

CALORÍA. Unidad física que se emplea para medir las cantidades de calor. . La caloría es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua de 14.5° a 15.5 °C bajo la presión atmosférica de 760 mmHg (1 atmósfera)

CAMBIO DE ESTADO. Cambio de fase de la materia; de sólida, líquida o gaseosa a otra. (3)

CAMBIO CLIMATICO. Son las variaciones en los promedio de los valores de los elementos meteorológicos (temperatura, precipitación, humedad, etc.) de una amplia región, a lo largo de un período de tiempo, las cuáles provocan alteraciones en el clima original de esa zona. (1)

CICLÓN. Circulación de aire alrededor de un área central de bajas presiones habitualmente asociada con tiempo inestable. En las latitudes tropicales puede referirse a una tormenta de grandes dimensiones que no alcanza, sin embargo, la condición de huracán.

CICLON EXTRATROPICAL. Es un ciclón que se forma a latitudes mayores a 30 , se compone por dos a más masas de aire, por lo tanto se asocia a uno o más frentes. (1)

CICLON TROPICAL. Es un ciclón, que no presenta frentes; se desarrolla sobre aguas tropicales y tiene una circulación, en superficie, organizada y definida en el sentido contrario a las manecillas del reloj. Un ciclón se clasifica, según la intensidad de sus vientos, en: perturbación tropical, vientos en superficie ligeros; depresión tropical vientos máximos en superficie de 61 Km/hr; tormenta tropical vientos máximos dentro del rango de 62 a 87 Km/hr; huracán vientos máximos en superficie mayores a 116 Km/hr. Los huracanes a su vez se dividen en 5 categorías según la velocidad de sus vientos, como se observa en la tabla siguiente (1):

Clasificación de Huracanes

Categoría	Velocidad de los vientos
Cat. 1	118 a 153 km/h
Cat. 2	154 a 177 km/h
Cat. 3	178 a 209 km/h
Cat. 4	210 a 249 km/h
Cat. 5	250 km/h

CIRCULACION ANTICICLONICA. Circulación atmosférica sistemática asociada a un sistema de alta presión. En el hemisferio Norte su sentido de rotación es igual al de la manecillas del reloj y al contrario en el caso de hemisferio Sur. (1)

CIRCULACION CICLONICA. Circulación atmosférica asociada con un sistema de “circulación general” Conjunto de configuración de las corrientes de la atmósfera sobre todo el globo terrestre. Con frecuencia el término se aplica a la configuración de la corriente media en un intervalo de tiempo dado. (1)

CLIMA. Es el estado medio de los elementos meteorológicos de una localidad considerando un período largo de tiempo. El clima de una localidad viene determinado por los factores climatológicos: latitud, longitud, altitud, orografía y continentalidad. (1)

CLIMATOLOGIA. Ciencia dedicada al estudio de los climas en relación a sus características, variaciones, distribución, tipos y posibles causas determinantes. (1)

CONSTANTE SOLAR. (I_{sc}) Cantidad de radiación solar que incide (por unidad de tiempo y de área) sobre una superficie normal a los rayos solares que se encuentra fuera de la atmósfera, a la distancia media entre el Sol y la Tierra. (3). ($I_{sc} = 1,367 \text{ W/m}^2$)

CORONA. Fotometeor que aparece como uno o más anillos coloreados, con radio relativamente pequeño que aparecen alrededor del sol o la luna y que se produce por la difracción de la luz en las gotas de agua. Este fenómeno se asocia a la presencia de nubes de tipo altoestratos. (1)

CORRIENTE EN CHORRO. Mal llamada "Corriente de Chorro", es una corriente rápida de vientos del oeste en altura; da la vuelta al planeta en ambos hemisferios. Tiene una velocidad mínima de 120 Km/h, posee una forma tubular, achatada y es casi horizontal, se presenta en la atmósfera superior, con una longitud de varios miles de kilómetros, algunos cientos de anchura y un espesor del orden de tres km. (1)

CHUBASCO. Precipitación de gotas de agua que caen desde una nube del genero cumulonimbos; se caracteriza por que empieza y termina repentinamente, por variaciones de intensidad muy bruscas y porque el estado del cielo sufre cambios muy rápido. (1)

DECLINACIÓN SOLAR. Ángulo formado entre el plano de la eclíptica y el plano ecuatorial terrestre. (3)

EFEECTO DE CORIOLIS. Efecto debido al movimiento rotacional de la tierra, que se manifiesta en todo cuerpo en movimiento, de tal forma que lo desvía de su trayectoria recta. En el hemisferio norte la desviación ocurre hacia la derecha de la dirección del cuerpo y mientras que en el hemisferio sur la desviación es hacia la izquierda. (1)

ELECTROMETEORO. Es la manifestación visible o audible de la electricidad en la atmósfera. Los principales son los relámpagos, truenos y la aurora boreal. (1)

ENTALPÍA. Magnitud termodinámica de un cuerpo. (3). Energía calorífica de un sistema termodinámico, cuya magnitud depende de los estados inicial y final del mismo. La entalpía es igual a la suma de la energía interna (u) (del cuerpo o fluido) mas el producto de su volumen (v) por su presión (p) (4):

$$\text{Entalpía} = u + vp$$

ENTROPÍA. Magnitud usada en termodinámica para expresar el grado de desorden de la materia. (4) Relación existente entre la cantidad de calor que un cuerpo gana o pierde y su temperatura absoluta. (3)

ESCALA DE VIENTOS BEAUFORT. Sistema de estimación de la fuerza de los vientos, fue ideada por el navegante inglés Beaufort basándose en los efectos de la fuerza del viento sobre la superficie terrestre y sobre el mar. Existe la siguiente relación entre la velocidad de los vientos dada en nudos (V) y el número en la escala de Beaufort (B) elevado a la potencia de $3/2$ y multiplicado por 1.87. (1)

$$V = 1.87 (B)^{3/2}$$

ESTABILIDAD ATMOSFERICA. Condición de la atmósfera que se opone al desarrollo de nubes de los géneros cúmulo y cumulonimbos. Se caracteriza por estados del cielo despejados o con presencia de nubes estratiformes. (1)

EVAPORACION. Cambio de fase del agua de un estado líquido a gaseoso por absorción de calor. (1)

EVAPORIMETRO. Es el instrumento que se utiliza para medir la evaporación del agua en la atmósfera. Consta de una tina de 1.21 mts. de diámetro y 25.5 cm de profundidad., su área aproximada es de 1.41 metros cuadrados. Debe estar colocado sobre una base que lo mantenga por encima del suelo a una distancia mínima de 3 a 5 cm. La estructura de la base debe permitir la libre circulación del viento. El tanque se rellena de agua y se van tomando lecturas diarias del tirante de agua por medio de un bernier llamado *torinillo micrométrico*. (1)

EVAPOTRANSPIRACION. Es la combinación de procesos de evaporación del agua y transpiración de las plantas y animales por medio de la cuál el agua es transferida a la atmósfera desde la superficie terrestre. (1)

FACTOR MASA DE AIRE. Relación que existe entre la longitud de la trayectoria atmosférica efectiva de los rayos solares y el espesor atmosférico que atravesarían esos rayos si incidieran perpendicularmente en la superficie terrestre. (3)

FOTOMETEORO. Fenómeno luminoso provocado por reflexión, refracción, difracción o interferencias de la luz solar o lunar. Los principales son el halo, arco iris, corona, anillos de Ulloa, espejismo, rayo verde y colores crepusculares. (1)

FRENTE. Zona de interacción entre dos masas de aire con características diferentes de temperatura y/o humedad. (1)

FRENTE CALIENTE (o Cálido). Se produce cuando una masa de aire caliente avanza hacia latitudes mayores y su borde delantero asciende sobre el aire más frío. Si hay humedad suficiente se observan todos los géneros de nubes estratiformes las cuáles podrían provocar precipitaciones de tipo continuo. (1)

FRENTE ESTACIONARIO. Es aquél frente que no presenta ningún desplazamiento. (1)

FRENTE FRIO. Se produce cuando una masa de aire frío avanza hacia latitudes menores y su borde delantero se introduce como una cuña entre el suelo y el aire caliente. Al paso de este sistema, se pueden observar nubes de desarrollo vertical, las cuales podrían provocar chubascos o nevadas si la temperatura es muy baja. Durante su desplazamiento la masa de aire que viene desplazando el aire más cálido provoca descensos rápidos en las temperaturas de la región por donde pasa. (1)

FUEGO DE SAN TELMO. Descarga eléctrica débil, más o menos continua que tiene lugar en la atmósfera cargada de humedad sobre objetos elevados y puntiagudos. (1)

GLOBO PILOTO. Se le llama así a un globo que se utiliza con el fin de calcular los vientos en altura, el procedimiento consiste en llenar con helio o hidrógeno el globo y dejarlo libre, después se sigue la trayectoria del globo con un teodolito, registrándose periódicamente su posición (azimut y elevación). (1)

GRADIENTE DE PRESION. Matemáticamente, vector perpendicular a la isobara o a la superficie isobárica y dirigido hacia valores bajos de presión. Diferencia de presión entre dos puntos. (1)

GRADIENTE DE TEMPERATURA. La razón del cambio de la temperatura por unidad de distancia, muy comúnmente referido con respecto a la altura. Se tienen dos gradientes, el adiabático de 10.0 °C/Km (en aire seco) y el pseudoadiabático (aire húmedo) es 6.5 °C/Km. (1)

HALO. Fotometeor en forma de anillo luminoso de 22° a 46° centrado sobre un astro que se produce cuando la luz que este emite se refracta sobre los cristales de hielo que se encuentran en suspensión en la atmósfera. Este fenómeno se asocia a la presencia de nubes de tipo Cirrostratos. (Anillo de Bishop) (1)

HIDROMETEORO. Fenómeno formado por un conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas que caen a través de la atmósfera. Las partículas acuosas pueden estar en suspensión, ser remontadas por el viento desde la superficie terrestre o ser depositadas sobre objetos situados en la atmósfera libre. Entre los principales se encuentran la lluvia, llovizna, nieve, granizo, niebla, neblina, rocío, escarcha, chubasco y tromba. (1)

HIDROSFERA (Esfera del agua). Esfera geográfica que incluye al agua en todo sus estados físicos. (gaseoso, líquido y sólido), es decir que incluye al agua contenida en la atmósfera, en la tierra y la de los mares, lagos y ríos, así como la nieve y el hielo de los glaciares.

HUMEDAD. Es el contenido de vapor de agua del aire; puede ser expresado como humedad absoluta, específica, relativa o razón de mezcla. (1)

HUMEDAD ABSOLUTA. En un sistema de aire húmedo, es la cantidad del vapor de agua (masa) contenida por una unidad de volumen de aire; se expresa en gramos de vapor de agua por metros cúbicos de aire húmedo. (3)

HUMEDAD ESPECIFICA. En un sistema de aire húmedo, es la cantidad del vapor de agua (masa) contenida por una unidad de masa de aire; se expresa en gramos de vapor de agua por kilogramo de aire húmedo. (4)

HUMEDAD RELATIVA. Es la relación expresada en porcentaje, entre el contenido de vapor de agua y el valor que tendría si el aire estuviera totalmente saturado a la misma temperatura y presión.

HURACAN. Nombre genérico que se le da a un ciclón tropical cuando este ocurren en las siguientes regiones geográficas: Atlántico Norte, Mar Caribe, Golfo de México, Pacífico Sur y Océano Índico (1); con velocidades superiores a 118 km/h (4)

INVERSION (TERMICA). Acción y efecto de invertir. Fenómeno que se presenta cuando el patrón normal de temperatura en la atmósfera se comporta de forma contraria, es decir, aumenta con la altitud. La presencia de una inversión provoca estabilidad en la atmósfera. Coloquialmente se le da el nombre de "*Inversión Térmica*"

INVERSION FRONTAL. Este tipo de inversión se presenta cuando una masa de aire caliente es obligada a elevarse sobre el aire más frío, esto sucede en las proximidades de una zona frontal.

INVERSION POR RADIACION. Este tipo de inversión se presenta generalmente por la noche, cuando la superficie terrestre, al no recibir la radiación del sol que la calienta, se enfría y por tanto el aire que se encuentra en contacto con la superficie se enfría más que el de mayores alturas.

INVERSION POR SUBSIDENCIA. Este tipo de inversión se debe al ascenso del aire caliente cuando es reemplazado por una masa de aire frío que desciende sobre la superficie.

ISOBARA. Es una línea trazada sobre un mapa sinóptico con la que se unen puntos donde la presión atmosférica tiene el mismo valor. (1)

ISOTERMA. Es una línea trazada sobre un mapa sinóptico con la que se unen puntos donde la temperatura tiene el mismo valor. (1)

ISOYETA. Es una línea trazada sobre un mapa sinóptico con la que se unen puntos donde se registra igual cantidad de precipitación. (1)

LATITUD. Una de las coordenadas geográficas que sirve para ubicar un punto sobre la superficie terrestre; se define por el ángulo que forma la vertical del lugar con el plano de ecuador. (3)

LITOSFERA. (Esfera de la tierra). Esfera geográfica relativa a la tierra. Generalmente relacionada con la corteza terrestre.

LITOMETEORO. Fenómenos que se relacionan con la suspensión de partículas sólidas no acuosas en la atmósfera o levantadas del suelo por el viento. Ejemplos son, la bruma o calima y el smog. Muy destacadas son las llamadas *Tormentas de arena* en zonas desérticas.

LONGITUD. Coordenada geográfica definida por el ángulo diedro que forma el meridiano que pasa por el lugar con otro meridiano tomado como origen (Greenwich) (3)

LLUVIA. Precipitación de gotas de agua líquida de diámetro mayor de 0.5 mm, o bien más pequeñas, pero muy dispersas y no mayores a 5mm. (1)

MAGNETOSFERA. (Esfera Magnética). Campo electromagnético que rodea a la Tierra.

MASA DE AIRE. Volumen extenso de la atmósfera cuyas propiedades físicas, en particular la temperatura y la humedad en un plano horizontal muestran solo diferencias pequeñas y graduales. Una masa puede cubrir una región de varios millones de kilómetros cuadrados y poseer varios kilómetros de espesor. (1)

MASA DE AIRE ESTABLE. Masa de aire en la que prevalece la estabilidad estática, condición que depende de los gradientes verticales de temperatura. (1)

MASA DE AIRE INESTABLE. Masa de aire que presenta inestabilidad en las capas inferiores; se producen nubes convectivas y precipitaciones cuando el contenido de humedad es elevado. (1)

MESOESCALA. Un fenómeno de mesoescala es aquél que tiene una duración entre 1 y 12 horas o una extensión horizontal entre 1 y 100 Km o una altura entre 1 y 10 Km. Ejemplo de estos fenómenos son las tormentas convectivas, tornados, brisa de mar, etc. (1)

METEORO. Fenómeno que es observado en la atmósfera o en la superficie del globo terrestre. Los meteoros, teniendo en cuenta la naturaleza de sus partículas constitutivas o los procesos físicos que intervienen en su formación, se han clasificado en cuatro grupos principales: Hidrometeoro, Litometeoro, Fotometeoro y Electrometeoro. (1)

METEOROLOGIA. Ciencia que estudia la atmósfera, comprende el estudio del tiempo y el clima y se ocupa del estudio físico, dinámico y químico de la atmósfera terrestre. (1)

METEOROLOGIA SINOPTICA. Estudia los fenómenos meteorológicos en tiempo real, basándose en las observaciones realizadas a la misma hora y anotadas sobre mapas geográficos con el objeto de predecir el estado del tiempo futuro. (1)

MILIBAR. Es la unidad de presión que expresa directamente la fuerza ejercida por la atmósfera, igual a 1000 Din/cm² o 100 pascales. (1)

MONZON. Vientos temporales de dirección persistente, los cuáles sufren un cambio muy pronunciado en la dirección normal de los viento, en cierta época del año. (1)

NEBLINA. Suspensión en la atmósfera de gotas microscópicas de agua o de núcleos higroscópicos húmedos que reduce la visibilidad en superficie. (1)

NIEBLA. Es un hidrometeoro, consistente en numerosas gólicas de agua lo suficientemente pequeñas para mantenerse suspendidas en el aire indefinidamente. Reduce la visibilidad a menos de 1 Km. (1)

NIÑO. Fenómeno oceánico-atmosférico, es de intensidad variable y ocurre en el Pacífico. Durante su ocurrencia provoca cambios en la temperatura y en los sistemas de presión en la región tropical del Océano Pacífico afectando los climas del mundo entero. (1)

NORMALES CLIMATOLOGICAS. Valores medios de los elementos meteorológicos (temperatura, humedad, precipitación, evaporación, etc.) calculados con los datos recabados durante un periodo largo y relativamente uniformes, generalmente de 30 años.

NUBE. Aglomeración de gólicas de agua en estado líquido, sobreenfriada o congelada suspendidas en el aire. La Organización Meteorológica Mundial ha definido 10 géneros de nubes, cada uno de los cuáles tiene forma distinta y puede ser asociado a diferentes hidrometeoro o fotometeoro. (1)

OBSERVATORIO METEOROLOGICO. Lugar donde se evalúan las condiciones actuales del tiempo, cuenta con el instrumental adecuado para tomar las lecturas de los parámetros necesarios. constituido por una o más personas que realizan las observaciones sensoriales y que toman las lecturas de los diversos instrumentos. (1)

OMM Organización Meteorológica Mundial. Organismo intergubernamental especializado de la Organización de las Naciones Unidas, constituido el 23 de marzo de 1950, se encarga de coordinar, estandarizar y mejorar las actividades meteorológicas a nivel mundial. (1)

OLA DE CALOR (Onda de Calor). Calentamiento importante del aire o invasión de aire muy caliente, sobre una zona extensa; suele durar de unos días a una semana. (1)

ONDA TROPICAL (Onda del Este). Perturbación de escala sinóptica en la corriente de los vientos alisios y viaja con ellos hacia el oeste a una velocidad media de 15 Km/h. Produce fuerte convección sobre la zona que atraviesa. (1)

OZONO. Molécula triatómica de oxígeno que se produce principalmente en la alta estratósfera por la disociación que de moléculas provocada por las radiaciones ultravioletas que emite el sol. Este gas absorbe las radiaciones ultravioletas emitidas por el sol en la gama de longitudes de onda de 0.2 a 0.3 micras. La mayor concentración de este elemento se encuentra entre los 20 y 25 Km de altitud, en la ozonósfera. (1)

PRECIPITACION. Partículas de agua líquidas o sólidas que caen desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. (1)

PRECIPITACION CONTINUA. Se dice que la precipitación es continua, cuando su intensidad aumenta o disminuye gradualmente. (1)

PRECIPITACION INTERMITENTE. La precipitación es intermitente cuando se interrumpe y recomienza cuando menos una vez en el lapso de una hora y su intensidad disminuye o aumenta gradualmente. (1)

PRECIPITACION POTENCIAL. Cantidad de agua expresada como un volumen o como una masa que puede obtenerse si el vapor de agua en una columna de aire en la atmósfera se condensa y precipita. (1)

PRESION ATMOSFERICA. Es la presión que ejerce la atmósfera en un punto específico como consecuencia de la acción de la fuerza de gravedad sobre la columna de aire que se encuentra encima de este punto. (1)

PROCESOS DE CONVECCION. Movimiento ascendente del aire provocado principalmente por el efecto de calentamiento que ocasiona la radiación solar en la superficie terrestre. Este fenómeno origina la formación de nubes de tipo cúmulos, los cuáles se pueden convertir en cumulonimbos (nubes de tormenta) si la convección es muy fuerte. (1)

PUNTO DE ROCÍO (Temperatura de punto de rocío). Es la temperatura a la cuál el aire alcanza la saturación, es decir se condensa. (1)

RACHA. Es un aumento brusco del viento con respecto a su velocidad media tomada en un cierto intervalo de tiempo. Su duración es menor de 20 segundos y una variación de cuando menos 15 Km/h, va seguida de un descenso en el viento. (1)

RADIOSONDA. Es un instrumento que se ata a un globo lleno con algún gas ligero, con el objeto de realizar la medición de datos meteorológicos a diferentes alturas, los cuáles transmite a una estación receptora ubicada

en superficie. La radiosonda incluye sensores para medir presión, temperatura y humedad; un modulador, un mecanismo conmutador y un radio transmisor. (1)

RAZON DE MEZCLA. (Relación de mezcla). Numero de gramos de vapor de agua por kilogramo de aire seco. (4)

RED METEOROLOGICA. Conjunto de sistemas de observación de las variables meteorológicas. (1)

RELAMPAGO. Descargas eléctricas visibles, generadas durante las tormentas. (1)

ROCÍO. Es el agua condensada sobre los objetos ubicados cerca de la superficie terrestre y se debe al descenso de la temperatura más allá de la temperatura de punto de rocío, lo que resulta en la condensación del vapor de agua contenido en el aire. (1)

SATURACION. Condición del aire que se presenta cuando la cantidad de vapor de agua que contiene es el máximo posible para la temperatura existente. (1)

SMOG. Acrónimo de las palabras SMOke y fOG (humo y niebla). Se forma por la combinación de la niebla con el humo. Adjetivo común para la contaminación. (1)

TEMPERATURA AMBIENTE. Es la temperatura del aire registrada en el instante de la lectura. (1)

TEMPERATURA MAXIMA. Es la mayor temperatura registrada en un día, y que se presenta normalmente entre las 14:00 y las 16:00 horas. (1)

TEMPERATURA MINIMA. Es la menor temperatura registrada en un día, y se puede observar normalmente en entre las 06:00 y las 08:00 horas. (1)

TEMPERATURA RADIANTE MEDIA (de globo). Es la temperatura registrada por un termómetro de globo, es decir un termómetro con el bulbo cubierto por una esfera de cobre de 150 mm de diámetro y pintada de negro mate, La medida que se obtiene será igual a la temperatura del aire mas las ganancias o pérdidas por energía radiante. (6)

TEMPORADA DE CICLONES TROPICALES. Época del año en la que se desarrollan ciclones tropicales con una frecuencia relativamente grande. En el Atlántico, en el Caribe y en el Golfo de México el período comprende desde el 1° de junio hasta el 30 de noviembre y en el Pacífico del 15 de mayo al 30 de noviembre. (1)

TORMENTA. Precipitación en forma de chubasco, acompañada por vientos fuertes, que es provocada por una nube del género cumulonimbus. (1)

TORMENTA CONVECTIVA. Tormenta provocada por fenómenos de convección. (1)

TORNADO. Es la perturbación atmosférica más violenta, en forma de remolino que se forma a partir de una nube cumulonimbus, de extraordinario desarrollo resultado de una excesiva inestabilidad, provoca un intenso descenso de la presión en el centro del fenómeno y fuertes vientos que circulan en forma ciclónica. (1)

TROMBA. Es un fenómeno similar a un tornado, solo que este se forma en la zona costera o en el mar. (1)

TSUNAMI. Onda marina producida debajo del agua por un movimiento sísmico del fondo submarino, se propaga en todas direcciones a partir de su punto de origen y al llegar a las costas puede provocar marejadas y olas de gran altura. (1)

TURBULENCIA. Es un cambio brusco de la velocidad y dirección de los vientos, provocada por obstrucciones naturales o artificiales al paso de aire o por excesivo calentamiento de la superficie terrestre y que da lugar a la formación de nubes de tipo cumuliformes. (1)

VAPOR DE AGUA. La cantidad de vapor de agua en la atmósfera es variable, siendo mayor en la regiones marítimas, depende de la evaporación y la evapotranspiración que se produce en la superficie de la tierra, y a pesar de encontrarse en pequeñas proporciones en la atmósfera, hasta un 3%, este gas juega un papel muy importante en la formación de los fenómenos meteorológicos. (1)

VELOCIDAD DEL VIENTO. Razón del movimiento del viento en unidad de distancia por unidad de tiempo. (1)

VIENTO. Aire en movimiento relativo a la superficie de la tierra, casi exclusivamente usado para denotar la componente horizontal. (1)

VIENTOS ALISIOS. Sistema de vientos relativamente constantes en dirección y velocidad que soplan en ambos hemisferios, desde los 30° de latitud hacia el ecuador con dirección noreste en el hemisferio norte y sureste en el hemisferio sur. (1)

VIENTO ANABATICO. Es el viento húmedo y cálido que se eleva por una ladera y que a su paso se condensa provocando la formación de nubes de tipo lenticular en la cima. (1)

VIENTO CATABATICO. Es el aire fresco y seco que desciende a sotavento de la montaña, después de haberse condensado toda la humedad de lado de barlovento. (1)

VIENTO GEOSTROFICO. Es el viento resultante de el equilibrio entre la aceleración de coriolis y la fuerza del gradiente horizontal de presión. Sopla paralelamente a las isobaras o isohipsas. (1)

VIRGA. Precipitación que se evapora antes de llegar al nivel de la superficie. (1)

VISIBILIDAD. Distancia horizontal máxima a la que un observador puede distinguir claramente algunos objetos de referencia en el horizonte. (1)

ZONA DE CONFORT. Confort es el estado psico-fisiológico bajo el cual la mayoría de los usuarios de un espacio manifiestan satisfacción con el medio ambiente que les rodea (2). Por lo tanto la zona de confort corresponde al rango o amplitud de las condiciones ambientales bajo las cuales los usuarios expresan dicho estado de satisfacción.

ZONA INTERTROPICAL DE CONVERGENCIA (ZIC). Intertropical Convergence Zone (ITCZ) por su nombre en inglés, es la zona donde convergen los vientos alisios de ambos hemisferios. También es conocida como Ecuador Meteorológico. (1)

GLOSARIO

- (1) SMN Glosario de Términos. Servicio Meteorológico Nacional – Comisión Nacional del Agua-México. <http://smn.cna.gob.mx/>
- (2) Chávez, J. Roberto Viento y Arquitectura. Editorial Trillas. México. D.F. 1995
Fuentes, Víctor
- (3) Lacomba, Ruth et al. Manual de Arquitectura Solar. Editorial Trillas México, D.F. 1991
- (4) Larousse Diccionario Ilustrado de las Ciencias. Editorial Larousse. México, D.F. 1987
- (5) Gutierrez, Jesús et al. Glosario de recursos Naturales. Editorial Limusa . México. D.F. 1983
- (6) Szokolay, Steven Environmental Science Handbook, The Construction Press, Lancaster, England 1980