
LA PIEL DE LA ARQUITECTURA MODERNA BRASILEÑA:


**LAS SOLUCIONES DE LA ENVOLVENTE A LA LUZ DE LOS CONCEPTOS DE LA
ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA**

**ÁMBITOS DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE EN LA ARQUITECTURA DE LA
UPC - UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA**

AUTOR: AUGUSTO ALVARENGA

DIRECTORES DE LA TESIS: JAUME AVELLANEDA Y JOSE MARÍA GONZÁLEZ

Barcelona, mayo de 2013



**SEGUNDA PARTE: CRITERIOS CUALITATIVOS
Y CUANTITATIVOS PARA EVALUACIÓN DE LA
ENVOLVENTE DE LA ARQUITECTURA**

Foto de portada: La piel del edificio del Ministerio del Educación y Cultura. Arquitectos Carlos Leão, Oscar Niemeyer, Affonso Reidy, Ernani Vasconcellos y Jorge Machado Moreira, 1936. Río de Janeiro, RJ (Acervo del Autor)



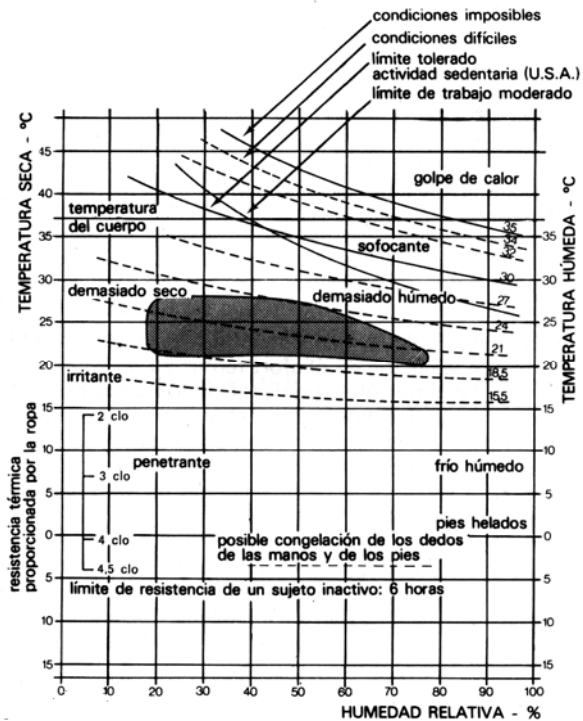
CAPÍTULO 4 - UNA PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE LOS EDIFICIOS

4.1 EL CONCEPTO DE PIEL EN LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

En primer lugar, debemos destacar que la definición de "arquitectura bioclimática" es posterior a las raíces del movimiento moderno en arquitectura a nivel internacional, por lo que se trata de un tema que, de hecho, era importante en el diseño y para los conceptos modernos de la arquitectura, pero no fueron así denominados. Sin embargo, hoy en día es la forma más utilizada para describir una arquitectura centrada en el clima y en el ambiente, con estrecha relación con el paisaje en el que está inserta, características que comúnmente se asignan a la arquitectura que fue producida en Brasil durante el periodo del estudio. Por lo tanto, en este capítulo, vamos a aislar y analizar cada una de las soluciones utilizadas en la arquitectura moderna brasileña y definir su función bioclimática pasiva. Estas soluciones se presentarán de forma integrada en los estudios de caso.

4.1.1 EL CONCEPTO DE ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

En los años sesenta, los hermanos Olgay aplicaron la bioclimatología en la arquitectura considerando el bienestar térmico humano y crearon el término "diseño bioclimático" que subyace en el diseño arquitectónico con el fin de obtener, a través de sus propios elementos, las condiciones atmosféricas favorables para para satisfacer el confort térmico del ser humano (Lamberts et al, 1997). Fueron los primeros los que representaron en una carta los parámetros de comodidad térmica, basándose en datos fisiológicos de 1925, lo que permite establecer una "zona de comodidad" en relación con la temperatura y la humedad relativa del aire. Este método se basa en unas condiciones muy concretas, para una persona con una

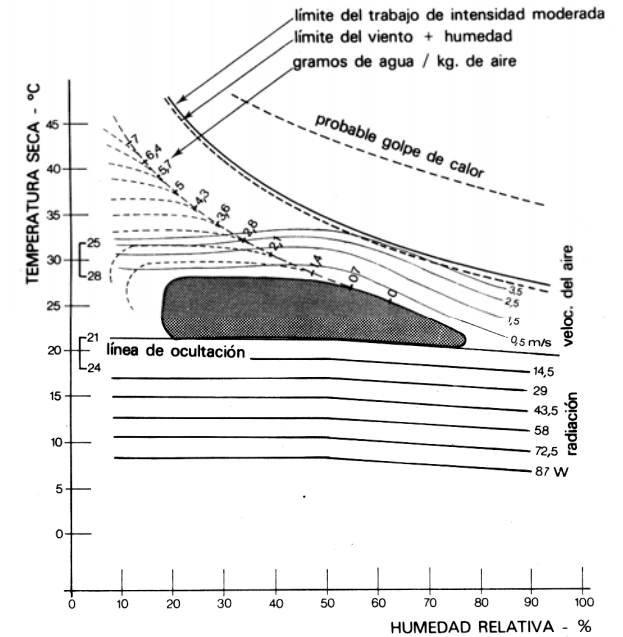


4.1 - El gráfico de la zona de confort. (OLGYAY, 1976). En gris, la zona de confort, delimitada por la temperatura del aire entre los 21°C y 27°C, y la humedad relativa entre 20% y 75%, con una zona de exclusión para el aire demasiado cálido y húmedo (sudor). Este gráfico además muestra: las sensaciones fisiológicas de las zonas periféricas; los límites de la actividad o el riesgo en función de las condiciones de

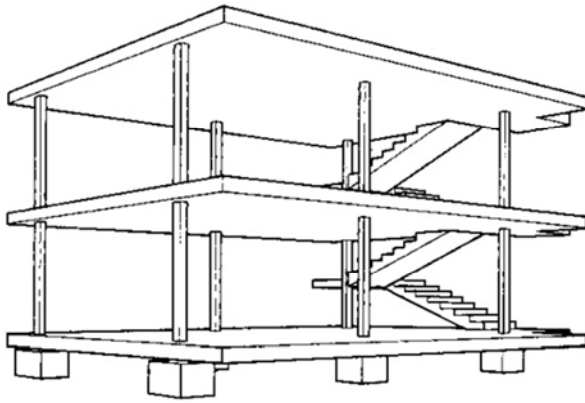
actividad ligera (paseando), vestida con ropa de entretiempo, sin viento y a la sombra. (fig. 4.1 y 4.2)

Aunque ampliamente discutidos en los medios técnicos, deben registrarse los principales parámetros de la arquitectura bioclimática. El término diseño bioclimático ha sido acuñado por los hermanos OLGAY (1963) como el proceso de diseño arquitectónico que se desarrolla en respuesta a las necesidades concretas del clima. WATSON y LABS (1983) lo considera como uno cuya fuente está en el micro-clima del sitio donde esté ubicado, con un flujo natural de energía por todo el edificio, creado a través de una integración total del sol, el viento, las precipitaciones, y el resultado de las temperaturas del aire y la tierra. En 1988, EVANS & SCHILLER (1991) señalaron que para que la arquitectura sea relevante en el futuro, es necesario cambiar las reglas establecidas durante las últimas décadas y tratar de entender cómo diseñar "con" la naturaleza y no "contra" ella. Los edificios deben aprovechar las energías naturales del sol y del viento mediante su incorporación, a través del diseño arquitectónico. Esta tesis se centra en el estudio de la optimización de las relaciones energéticas del espacio que se creará con el medio ambiente que lo rodea, alcanzado por el diseño bioclimático.

Según MASCARELLO (2008), en el momento de la formulación de los preceptos de la arquitectura moderna no se conocían los principios de la arquitectura bioclimática, lo que viene a corroborar la vanguardia de Le Corbusier cuando formula sus cinco



4.2 – Grafica demostrativo de los resultados obtenidos con las estrategias ambientales. (OLGYAY, 1976). El desplazamiento de la zona de confort cuando se aplican medidas correctoras del ambiente: Aumento de la radiación incidente o soleamiento (W absorbidos) contra el frío; Aumento de la velocidad del viento (m/s) contra el exceso de calor y humedad; Evaporación adiabática (g agua/Kg aire) contra el exceso de calor y sequedad.; La tolerancia a bajas temperaturas cuando se aumenta el arropamiento (unidades Clo).



4.3 - La casa dominó. (LE CORBUSIER, 1924)

puntos, considerando el hecho de que estos elementos arquitectónicos tienen una relación directa con los principios de la arquitectura bioclimática. La expresión resultante de la arquitectura de ese periodo presenta soluciones tecnológicas teniendo en cuenta el territorio, el clima local, la orientación solar, los factores de la forma, de la luz y la sombra.

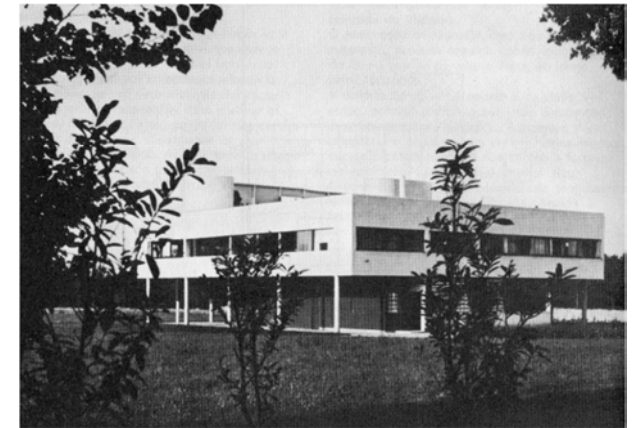
Sin embargo, al analizar los cinco puntos propuestos por Corbusier, se pueden comprender las reales diferencias que vendrán a calificar a la arquitectura moderna brasileña, tanto en la adaptación de sus propuestas, como en su negación -en algunos aspectos, por una absoluta imposibilidad técnica o por inadecuación climática. La comprensión de estas diferencias es crucial para el entendimiento de las soluciones desarrolladas en el periodo. A continuación, vamos a examinar cada uno de los cinco puntos y la forma en que fueron tratados por los racionalistas brasileños.

El primer punto, la Planta Libre, se basa en una estructura independiente, que permite la concesión libre de los muros (fig. 4.3), ya que no es necesario ejercer la función de soporte. Fue el desarrollo de las técnicas del hormigón armado que dio un gran impulso a esta propuesta. La posibilidad de la planta libre es de gran importancia cuando se consideran los factores que requieren conectividad de la ventilación entre los espacios interiores. Éste es quizás el punto más atendido por los modernistas brasileños, especialmente teniendo en cuenta el hecho, ya estudiado en el capítulo 1, de que la estructura independiente ya era empleada en los edificios

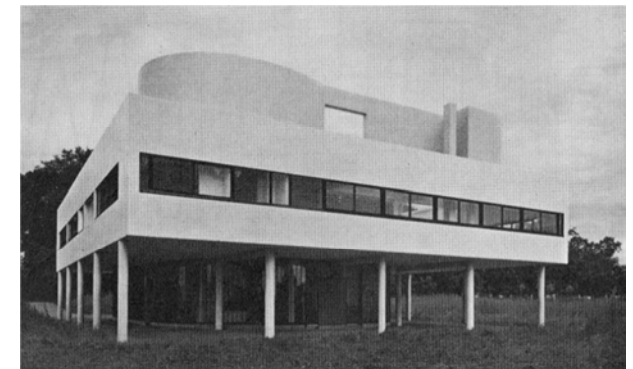
de Brasil desde la época colonial, debido a la utilización de estructuras independientes de madera con cerramiento de adobe o tapia de mano.

El segundo punto, la fachada libre (fig. 4.4), resulta también de la independencia de la estructura. Esta libertad ha sido explotada en varios proyectos por los arquitectos brasileños, sin embargo, siempre teniendo en cuenta la orientación solar y la relación con el paisaje. En el edificio del Ministerio de Educación y Salud, por ejemplo, dos fachadas se mantienen sin aperturas, abriéndose las fachadas principales para permitir el uso de la iluminación natural. Esta libertad en el mismo edificio, se explota con criterio, sobre todo con el uso de los brises de protección solar. A lo largo del periodo de estudio no son encontradas las cajas de cristal que se han constatado después en la internacionalización de la arquitectura, especialmente en los Estados Unidos.

Los pilotes, el tercer punto propuesto por Corbusier (fig. 4.5), es entendido como el sistema de pilares que elevan el edificio del suelo, permitiendo el tránsito peatonal y el libre paso del aire por debajo de él. Los pilotes representan, ante todo, un diseño para la ciudad. Para hacer viable el uso de los pilotes, la trama urbana debe estar pensada para permitir la libre circulación entre las manzanas. La relación de esta solución con el típico solar urbano de Brasil nunca ha sido bien resuelto, ni en las propuestas arquitectónicas, ni en las normativas edilicias. La planta baja libre con muros entre vecinos se aplicó erróneamente en un sinnúmero de situaciones en las ciudades brasileñas. La excepción a eso fue el diseño de los superbloques de Brasilia, donde el concepto de los pilotes abiertos y públicos se aplicó a todos los



4.4 - Ville Savoye, Le Corbusier. La fachada libre. (BOESIGER, 1995)



4.5 - Ville Savoye, Le Corbusier. Los Pilotes. (BOESIGER, 1995)



4.6 – Ville Savoye, Le Corbusier. Poissy, Franca, 1931.
La terraza jardín. (BOESIGER, 1995)



4.7 – Ville Savoye, Le Corbusier. Poissy, Franca, 1931.
La ventana longitudinal. (BOESIGER, 1995)

edificios residenciales y aun hoy continúa garantizado por las normativas de la ciudad, declarada patrimonio de la humanidad por la UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*).

El cuarto punto, la Terraza Jardín (fig. 4.6), "recupera" los terrenos ocupados por el edificio, "transfiriéndola" para la azotea del edificio en la forma de un jardín, que es un tema muy contemporáneo por las actuales preocupaciones con la captura de CO₂, como forma de reducir el efecto invernadero. Sin embargo, los problemas técnicos de impermeabilización de terrazas en Brasil, sobre todo de las regiones que se encuentran desde el Trópico de Capricornio hacia arriba, donde los índices de precipitaciones son muy altos, siempre ha sido una fuente importante de patologías en los edificios "sin techo". En la arquitectura brasileña, varias soluciones alternativas a la terraza jardín se encuentran entre los ejemplos de cubiertas estudiadas: la "cubierta mariposa", la cubierta ventilada, la cubierta de tejas cerámicas con diseño "moderno" son algunos de los más encontrados. Cuando las intenciones estéticas del proyecto exigen un volumen puro, las tejas se ocultan por detrás de antepechos, a menudo ventiladas, mediante el uso de cobogós de hormigón o buzínos¹.

El uso de la ventana longitudinal (fig. 4.7), a partir de la fachada libre, el quinto y último punto de Le Corbusier, permite una apropiación sin impedimentos visuales del paisaje. Siguiendo la tradición colonial, donde poco a poco se utilizaron las ventanas

¹ Los términos "buzínos" y "cobogós" están descritos en el capítulo anterior.

que ocupan casi toda la fachada, las amplias ventanas, dependiendo de la orientación, reciben la protección de los brises, celosías o cobogós, lo que reduce el deslumbramiento y mejora la calidad de la iluminación natural sin bloquear la ventilación. Las fachadas de cristal se utilizan en la cara sur, donde no hay ganancia por la radiación directa. Se crearon también carpinterías de doble función, con apertura plena, y con persianas exteriores de protección solar.

Las propuestas europeas son, sin duda, las principales influencias que han tenido los arquitectos brasileños desde el comienzo del movimiento moderno en la arquitectura. Sin embargo, como se puede concluir, en ningún momento esas propuestas fueron adoptadas como un estándar internacional desconectadas de la realidad y del clima local. Todo al contrario: los todavía jóvenes arquitectos brasileños fueron capaces de reinterpretar y adaptar los preceptos internacionales a la realidad técnica y a la situación económica nacional. Se concluye también que el trato de la envolvente fue la clave para ese proceso. Pasamos a discutir esta temática a partir del concepto de piel.

4.1.2 EL CONCEPTO DE PIEL

La piel es el mayor órgano y el más complejo del cuerpo, proporcionando las funciones vitales. Es la piel la que nos protege de los agentes externos, tales como hongos, bacterias, productos químicos, los factores ambientales físicos, e incluso del sol. También regula la temperatura del cuerpo, las defensas inmunológicas y el control del flujo de la sangre, realiza las funciones sensoriales y elimina las secreciones. Todo gracias a las células de la epidermis y de la dermis y de la

secreción de sebo y sudor, que forman una cubierta especial. Por otra parte, la piel tiene un impacto importante en el comportamiento y en la autoimagen de las personas, ya que está vinculada a la apariencia.

De manera analógica, puede también afirmarse que la arquitectura es una especie de extensión de la piel que, al igual que el vestido, es el territorio expandido del ser, para protección, comunicación y relación. Como se sabe, la piel permite establecer mecanismos de control y protección; adquiere diferentes texturas, colores, vellosidades y porosidades según el lugar en el que se encuentre; se decora y se tatúa, es más o menos flexible y gruesa según se requiera, se adapta, envejece y muestra las arrugas, huellas, cicatrices y marcas del tiempo de la experiencia vivida (GIRALDO, 2010).

BALDEWEG (1995, p.1) transpone los conceptos de piel al edificio:

La piel del edificio es límite y es transición, es máscara y es transparencia. Tiene un espesor y ocupa tres dimensiones en el espacio, pero también tiene espesor en el espacio multidimensional de las variables a las que se dedica su control. Es cortina, filtro, amortiguador; es construcción para mantener los valores de las variables esenciales, como la temperatura, soleamiento, ruido o privacidad en los niveles del bienestar. Cuando se piensa en la piel se piensa en algo autónomo, liberado de la estructura, que circunscriba un interior con confort. Pero también la piel se diferencia por variables. En los países meridionales, tiene funciones de filtro y pantalla, ocupa o crea complejos espacios intermedios. También hay interposiciones entre pisos, habitaciones,

estancias o lugares asociados a actividades concretas. Por lo tanto, la cara externa puede ser expresiva de lo interno manifestándose en continuidad con elementos de aislamiento interiores. Por otro lado, y a través de algún material, por ejemplo, la superficie externa es a la vez capaz de reflejar su alineamiento en la ciudad.

SABATÉ (2008) recupera el concepto de la envolvente de los edificios, pero lo clasifica desde el punto de vista de la relación con la naturaleza con el reto de lograr una arquitectura más sostenible: los cerramientos son, muchas veces comprendidos como una barrera entre el exterior y el interior, o sea, algo que aísla, impidiendo el contacto y el paso de la intemperie. Si tomamos la experiencia de la piel humana, hay una relación mucho más compleja que el simple aislamiento. La piel, no nos aísla del entorno sino que nos protege del frío y del calor excesivo, pero permite el paso de lo que necesitamos como la luz, el aire y el calor del sol. Esa función dinámica es mucho más efectiva y elaborada que una simple barrera, pero, necesita un control mucho más sofisticado. El autor habla además de los edificios:

La inercia térmica, el control de la luz, el control solar y la gestión de los cambios de la humedad y del vapor son la clave para la definición correcta de la envolvente.

Esta definición propuesta por SABATÉ (2008) conecta la cuestión de la piel con un concepto contemporáneo, en la comprensión de la producción arquitectónica, además de relacionar los temas del concepto bioclimático. Entender la envolvente de un edificio como una piel significa, pues, la comprensión de cómo los edificios se



4.8 - Arquitectura energéticamente eficiente, según SERRA & COCH. (1995)

relacionan con su medio ambiente. Por otra parte, significa la comprensión de cómo el edificio saca partido de los recursos ambientales para garantizar su "bienestar" desde el punto de vista de la comodidad y también desde el punto de vista de la conservación de energía (fig. 4.8).

Desde el desarrollo de los conceptos de la arquitectura bioclimática por los hermanos Olgay en la década de cuarenta, la conciencia mundial sobre el impacto real que la construcción causa en el ambiente ha sido muy significativo. Eso es lo que realmente hizo que el tema de la sostenibilidad, que abarca el bioclimatismo, ganara importancia en los medios técnicos de producción arquitectónica. Sin embargo, una de los principales hallazgos de este estudio es que, a pesar de que la arquitectura moderna brasileña ha sido reconocida internacionalmente por su atención a las cuestiones climáticas, este cuidado con el ambiente poco a poco / con el paso de los años ha sido abandonado casi por completo por las prácticas del mercado de la construcción a nivel nacional. Mientras que el conocimiento generado por los estudios globales desarrolla técnicas que han ido perfeccionando los conceptos de bioclimática y sostenibilidad, en Brasil y en otros países como los Estados Unidos, por ejemplo, estos conceptos no llegan a la gran mayoría del parque construido.

4.1.3 LA ARQUITECTURA ACTUAL Y LA DESATENCIÓN AL DISEÑO BIOCLIMÁTICO

Hemos visto hasta ahora la amplia gama de soluciones para el acondicionamiento pasivo desarrollado por los profesionales brasileños entre los años treinta y sesenta. No obstante, estas soluciones cayeron en desuso y no fueron sustituidas por versiones mejoradas. Los aparatos de protección solar, como por ejemplo,

persianas, brises y cobogós sólo son usados hoy en día en proyectos especiales y pequeños, sustituidos en su mayoría por cristales refractantes de eficiencia ambiental dudosa. Las cubiertas ventiladas en materiales industriales cedieron lugar a los tejados de fibro-cemento empotrados y sin ventilación, que en un año se oscurecen y forman una verdadera cámara de aire caliente, haciendo que el calor se irradie al medio, aumentando significativamente la temperatura interna de los ambientes. Esto se puede ver desde los tejados de las chozas de las favelas (fig. 4.9) hasta los edificios de viviendas de lujo, creando grandes islas de calor en nuestras ciudades (fig. 4.10). En el ámbito de las carpinterías, a pesar de los significativos avances en la industria del aluminio, las soluciones de gran creatividad, como la ventana ideal, la ventana con doble capa, o incluso las puertas con múltiples carriles, fueron sustituidos, en la arquitectura producida comercialmente en Brasil, por las carpinterías totalmente acristaladas con dimensiones mínimas y que, en la mayoría de los casos, permiten la apertura de sólo un 50% del área total.



4.9 - Vista aérea de la favela de la Rocinha, Río de Janeiro, tejados en fibrocemento gris. Fuente: imagen del googleearth el 26/06/2009.



4.10 - Edificios de alto estándar en la Barra da Tijuca, Río de Janeiro. Los mismos tejados en fibrocemento gris. Fuente: Imagen del google earth el 24/06/2009.

Por supuesto, todas las soluciones pasivas de acondicionamiento ambiental tienen que estar asociadas a las técnicas de construcción sostenible, cuidando del impacto global del edificio sobre el medio ambiente, desde su producción hasta el fin de su vida útil (la demolición). Sin embargo, en el caso de Brasil, es urgente la recuperación de los conceptos básicos de la arquitectura moderna que fueron desarrollados hace sesenta años y que fueron totalmente olvidados por la práctica del mercado inmobiliario y por los arquitectos contemporáneos. Por lo tanto, esta tesis se centra en las soluciones bioclimáticas pasivas de la arquitectura moderna y no ofrece ninguna crítica y no analiza los otros principios de la sostenibilidad en la construcción.

La pregunta que queda: ¿qué ha pasado a lo largo del último medio siglo? ¿Qué hicieron los arquitectos respecto a este espíritu vanguardista?

A partir de los años setenta, la arquitectura ha sufrido un proceso de estandarización y de pérdida de las cualidades arquitectónicas que nacieron en aquellos años fértiles. Hoy en día, lo que “está de moda” en los emprendimientos en varias ciudades del país son arquitecturas en bloques pesados con pocos balcones y en un “estilo neoclásico simplificado”: una mezcla de las comunidades estadounidenses con las villas italianas (fig. 4.11). Además de las pérdidas arquitectónicas en términos medioambientales/sostenibles, proyectos hechos en distintas regiones de Brasil siguen los mismos patrones constructivos y estéticos (fig.s 4.12 y 4.13). La gran inercia térmica de los muros y la inexistencia de ventilación cruzada en las tipologías son las características principales de estas equivocaciones.



4.11 - La nueva arquitectura neoclásica brasileña. (WILHEIM, 2006)



4.12 – Edificio en la Ciudad de Baurú, SP. Clima Subtropical de Altitud. (MRV, 2008)



4.13 – Edificio en la ciudad de Vila Velha, ES. Clima tropical. (MRV, 2008)

WILHEIM (2006) critica esta situación y cita que las batallas que Le Corbusier y los arquitectos modernos del siglo XX trabaron contra el anacronismo neoclásico datan de 1920. “Estamos en Brasil, en el año 2006, y la arquitectura que aquí practicamos tiene indudables maestros, sus calidades fueron, como mínimo, reconocidas por los críticos que confirieron el premio Pritzker a Oscar Niemeyer y a Paulo Mendes da Rocha”.

Desde los años treinta, mucho ha cambiado en el proceso de análisis ambiental de las soluciones arquitectónicas pasivas. Softwares de cálculo, ensayos de los productos y sus propiedades térmicas y acústicas, los nuevos materiales con propiedades adecuadas para el control climático, los nuevos tipos de aislamiento térmico y sistemas de cerramiento, son ejemplos de lo que tenemos disponible hoy en día para producir una arquitectura bioclimática. ¿Por qué todos estos recursos y materiales no se utilizan entonces? ¿Por qué hace sesenta años la cuestión bioclimática estuvo presente en la mayoría de las obras relevantes de nuestra arquitectura y en la actualidad la gran mayoría de los promotores y arquitectos simplemente olvida este aspecto en sus edificios?

Aun sin conseguir contestar a esta pregunta, es importante, en esta tesis, valorar la intención y la decisión de utilizar los dispositivos concebidos o desarrollados por los maestros de la arquitectura moderna brasileña. Se debe valorar la maestría en la composición de "la piel de los edificios" de la época áurea de nuestra arquitectura, puesto que funcionaba eficazmente como una interfaz entre el edificio y el medio ambiente. El rescate de las soluciones y procesos compositivos de aquella arquitectura es esencial para hacer frente a esta realidad descrita.

Como estrategia para la valoración de aquellas ideas o ideales, esta tesis presenta un análisis de las soluciones, focalizando su relación con el objeto arquitectónico frente a las necesidades de confort ambiental. Por lo tanto, es una evaluación del conjunto, que no pretende analizar numérica y detalladamente los índices medio ambientales logrados, sino comprender si las soluciones aplicadas en conjunto son coherentes con el concepto planteado de "piel".

Con los recursos actuales se tendría mucha más capacidad de lograr mejores niveles de rendimiento que los medios -a menudo empíricos- utilizados por los arquitectos en aquél periodo histórico. Una vez más, la intención de hacer una arquitectura basada en criterios bioclimáticos es lo que necesita ser recuperado. Se busca, por lo tanto, la sistematización de la evaluación arquitectónica por el medio de estos recursos contemporáneos como los modernos softwares de evaluación bioclimática.

4.2 EL CLIMA BRASILEÑO



4.14 - Mapa político de Brasil, con la división por estados y regiones. Fuente: http://pt.wikipedia.org/wiki/Subdivis%C3%B5es_do_Brasil.

A pesar de su gran tamaño (8,5 millones de km²), el 92% del territorio del país se encuentra en los trópicos, con latitudes que van desde 5 grados al norte del Ecuador hasta 32 grados de latitud sur. Brasil no tiene grandes cadenas montañosas, u otros factores que modifiquen el clima de manera efectiva, y las dimensiones continentales en la región norte son compensadas por la gran masa de selva Amazónica. Lo que prevalece en toda la zona norte son los climas ecuatoriales y tropicales que van del seco al húmedo. En la parte correspondiente al 8% del territorio nacional por debajo del Trópico de Capricornio, el clima es subtropical húmedo, bajo la influencia del Atlántico Sur, empezando en la región Sur del país y terminando en el Medio Oeste y Sudeste (fig. 4.14). Aquí hay una variación térmica más evidente durante todo el año, con las estaciones más definidas. Las temperaturas del país varían alrededor de los 20°C (media de las mínimas) y las máximas pueden alcanzar los 38°C, mientras que la característica más importante es la alta humedad que puede ir más allá del 90%. Los vientos tienen generalmente una velocidad limitada y, excepto en el Sur, las estaciones están más esencialmente determinadas por la lluvia que por la variación de la temperatura (MARAGNO, 2010).

En cuanto a los aspectos térmicos, hay diferencias significativas. Como se puede ver en el mapa de temperatura media anual, el Norte y el interior del Nordeste, tienen temperaturas medias superiores a 25°C, mientras la Región Sur, y parte del Sudeste registran de temperaturas medias anuales inferiores a 20°C. De acuerdo con datos

del FIBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), temperaturas máximas absolutas, por encima de 40°C se observan en las tierras bajas del interior de la región Nordeste, en las depresiones, valles y tierras bajas del sureste, en las áreas del Pantanal, en áreas bajas del Medio Oeste, en las depresiones centrales y en el valle del río Uruguay, en la Región Sur. Las temperaturas mínimas absolutas con valores frecuentemente negativos se observan en las cumbres montañosas del Sudeste, y en gran parte del Sur y va acompañada de heladas y, muy raramente, nieve. En la fig. 4.15 se presenta el mapa del país con las distintas unidades climáticas.

Son las masas de aire las que interfieren de manera más directa en Brasil, de acuerdo con el Anuario Estadístico de Brasil, del IBGE (Instituto Brasileño de Geografía y Estadística), estas masas son: la Ecuatorial, tanto Continental como en el Atlántico; La Tropical, también Atlántico y Continental; y la polar del Atlántico, propician las diferencias climáticas.

Se verifican en el país desde los climas súper húmedo y cálido de las masas Ecuatoriales, como es el caso de gran parte de la región Amazónica, hasta los climas semiáridos muy fuertes, propios del sertón del Nordeste. Según la clasificación climática de Arthur Strahler, lo que prevalece en Brasil son cinco climas principales, a saber:

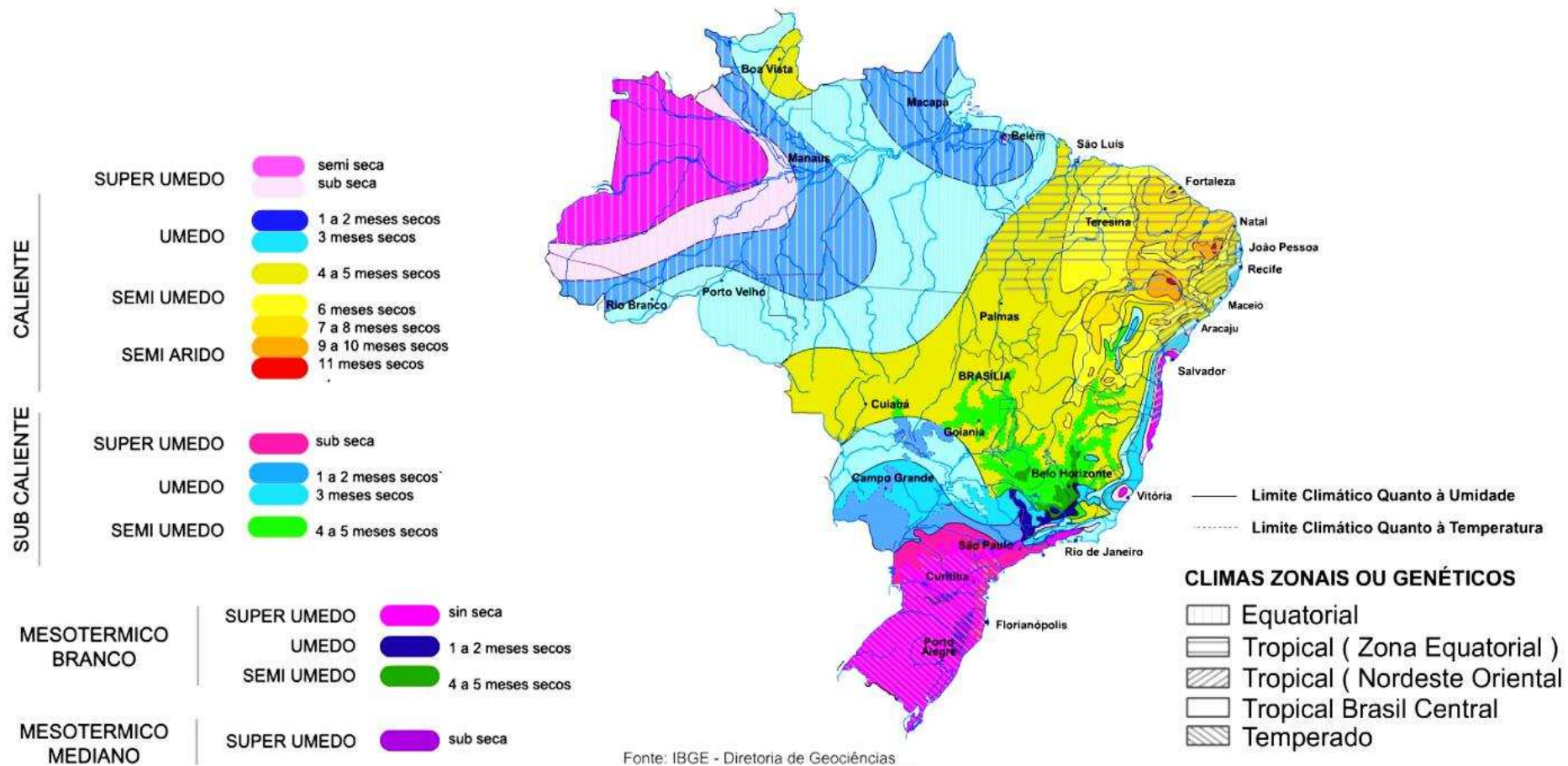
- clima húmedo ecuatorial, de la convergencia de los vientos alisios, que incluye la Amazonia;
- clima tropical alternativamente húmedo y seco, que abarca gran parte de la zona central del país y la costa medio-norte;

- clima tropical que tiende a ser seco por la irregularidad de la acción de las masas de aire, que abarca el semiárido del nordeste y centro del valle del río São Francisco;
- clima costero húmedo, expuesto a las masas tropical marinas, que abarca la estrecha franja de la costa este y nordeste;

clima subtropical húmedo en las costas subtropicales y orientales, dominada principalmente por la masa tropical marítima, que abarca el sur de Brasil.

Según las normativas brasileñas para el desempeño térmico de viviendas de protección social (ABNT - Asociación Brasileña de Normas Técnicas, 2003), la protección solar es necesaria siempre que el análisis bioclimático indique los períodos de calor. Una de las recomendaciones más obvias y más notables está relacionada precisamente con el control de la radiación solar. Alrededor del 80% del territorio brasileño presenta necesidad de sombreado de las aperturas durante todo el año, mientras que el resto del país, aunque la norma no intente explícitamente detectar altas temperaturas, en verano demuestran también la necesidad de la sombra.

Según MARAGNO (2010), para la mayor parte del territorio no sólo es necesaria la protección contra la luz directa del sol en los muros y aperturas, sino también la creación de espacios intermedios para albergar las actividades diarias y promover una mayor armonía con la naturaleza.



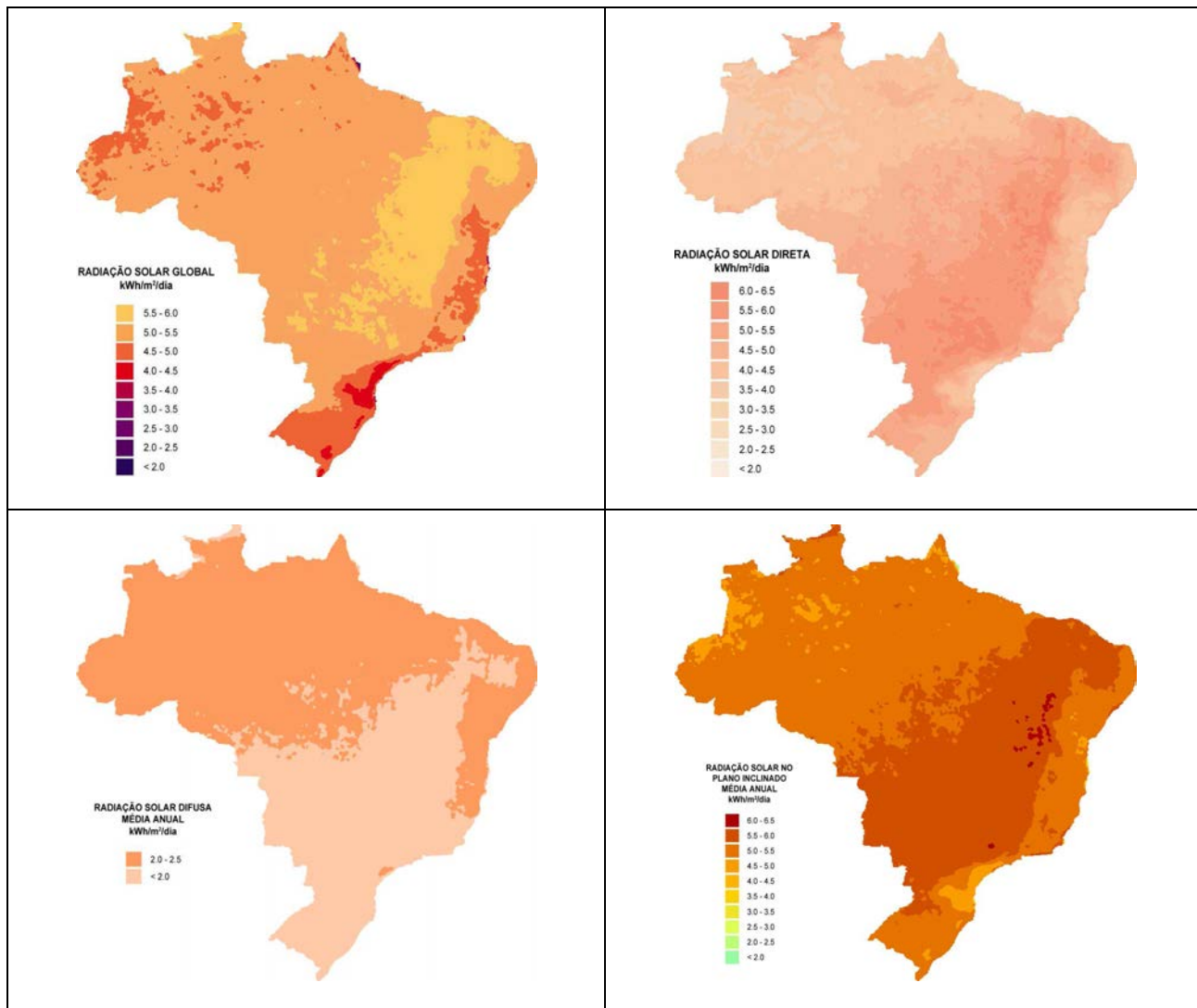
4.15 - Mapa del país con las distintas unidades climáticas. Fuente: IBGE – Directoria de Geociencias.

4.2.4 DISPONIBILIDAD DE LA RADIACIÓN SOLAR

El Sol es la mayor fuente de energía en el sistema solar. Con una temperatura de alrededor de 1,5 millones de grados centígrados, el sol es un horno atómico masivo, por la conversión de hidrógeno en helio. La Tierra recibe alrededor de 120 petawatts de la energía del sol, lo que significa que serían necesarias 98 millones de centrales nucleares medianas para producir una cantidad equivalente de energía.

En el diseño de edificios energéticamente eficientes, la radiación solar puede ser considerada de dos maneras. Por un lado, la energía del sol se puede aprovechar a través del diseño solar pasivo y como una fuente de energía renovable, utilizando sistemas fotovoltaicos; por lo contrario, la radiación solar también representa la mayor fuente de ganancia de calor en los edificios, que pueden exigir cantidades significantes de energía para mantener un edificio acondicionado.

Debido a su ubicación predominantemente intertropical, Brasil tiene una alta disponibilidad de la radiación solar en todo su territorio. El mayor flujo de la radiación observada está en la región central del país durante el verano. Sin embargo, es interesante observar que durante el verano, los valores de radiación solar global en la región Sur son más altos que los valores obtenidos para la región Norte. El hecho se produce como consecuencia del desplazamiento de la zona de convergencia intertropical que lleva la mayor frecuencia de fuertes lluvias y la nubosidad observada en la región Amazónica durante esa temporada. (MARAGNO, 2010)



4.16 - Mapas de la radiación solar media anual para todo el territorio brasileño, obtenidos mediante el modelo de BRASIL-SR a partir de datos e imágenes de satélite GOES-8 para el año 2000: (A) la irradiación global, (B) la irradiación directa, (C) la irradiación difusa (D) la irradiación global en un plano inclinado con el ángulo de inclinación igual a la latitud local. Fuente: MARTINS et al 2005.

Según SZOKOLAY (2008), hay dos formas de medir la radiación solar: la radiación antes de la intensidad (W/m^2) es el caudal instantáneo o densidad de flujo de energía y la irradiación (J/m^2 o Kw/m^2) que expresa la cantidad de energía procedente del sol y recibida en una unidad de área para un periodo de tiempo (horas, días, meses o años).

4.2.5 EL EDIFICIO PARA EL CLIMA TROPICAL

En un clima tropical, con elevados niveles de radiación solar, de iluminancia del cielo y abundancia de lluvias es imprescindible la protección solar de las envolventes, así como es deseable la creación de espacios cubiertos y sombreados junto a las edificaciones. YANNAS (2001) defiende que espacios de transición en climas con significativos periodos cálidos son tan importantes -y en determinadas ocasiones aun más- que los espacios interiores, debiendo por eso recibir la máxima atención por parte de los proyectistas.

La parcela más importante de ganancia de calor en los edificios es consecuencia de la radiación solar, que puede ocurrir tanto en superficies transparentes como en opacas, aunque de maneras diferentes. Esa es la razón por la cual los dispositivos de sombra constituyen la estrategia primordial para la obtención de confort en los climas cálidos. Además, la acción de la radiación solar directa sobre el cuerpo humano causa un aumento de la sensación de calor, produciendo incomodidad. De manera aproximada, se puede considerar la sensación de calor como una media entre la temperatura del aire y la temperatura radiante, en condiciones iguales de ventilación. El espacio sombreado reduce considerablemente la parcela

correspondiente a la temperatura radiante y como consecuencia de la temperatura de sensación, aun más al asociarse a la ventilación. (MARAGNO, 2010)

Es necesario aquí establecer lo que es realmente necesario y eficaz para las condiciones climáticas en Brasil. El predominio del clima tropical en Brasil indica que el aislamiento térmico de la envolvente de los edificios es mucho menos importante que la capacidad de esa envolvente de crear sombra en las capas interiores. La transmisión de calor por radiación desde el exterior hacia el interior, considerando una temperatura de 35°C en el exterior a una temperatura interna deseada de aproximadamente 24°C es insignificante si se compara a la capacidad de la radiación solar directa para calentar una superficie que la recibe directamente. Además, los espacios formados entre los dispositivos de sombreado y los espacios internos, con frecuencia generan espacios intermedios que cumplen con parte de las funciones de una construcción en los usos diarios que se desarrollan allí, especialmente en el caso de edificios residenciales. Estar a la sombra y en el paso del viento es la condición más eficiente en términos de acondicionamiento pasivo que se puede ofrecer a las personas que utilizan la arquitectura en un clima como el brasileño.

En este contexto, en la literatura producida por los arquitectos de Brasil sobre la cuestión bioclimática, se debe recuperar la producción del arquitecto pernambucano Armando de Holanda en torno a los estudios de la bioclimática aplicada a la arquitectura de la franja intertropical. La arquitectura moderna producida en Recife, una de las mayores ciudades del nordeste brasileño, fue reconocida como ejemplo de climatización ambiental, en un clima todavía más caluroso que en la región sudeste. Holanda observó el trabajo, el discurso y la práctica de varias generaciones de arquitectos que trabajaron en aquella ciudad entre los años treinta y setenta.

Estos arquitectos buscaron adaptar los principios de la arquitectura moderna al clima cálido y húmedo. Holanda reunió una serie de experiencias empíricas en un libro titulado "Guión para construir en el Nordeste: La arquitectura como un lugar ameno en los trópicos soleados", publicado en 1976 por la editorial de la Universidad de Pernambuco (HOLANDA, 1976). El libro se convirtió en una de las principales referencias de las disciplinas de diseño arquitectónico y confort ambiental en los cursos de Arquitectura y Urbanismo en el nordeste de Brasil (CARMEN FILHO, 2005). Los criterios propuestos por Holanda fueron sistematizados y adoptados para la evaluación de los ejemplos presentados porque tienen un contenido largamente cualitativo en sus propuestas, incluso poético para algunos, pero ciertamente pragmáticos en cuanto al conjunto de criterios que deben observarse en el diseño para este clima. Para esta evaluación se desarrolló una metodología donde, para cada uno de los conceptos propuestos por Holanda, se creó una representación iconográfica que describe la solución y permite un reconocimiento visual de cada uno de los subsistemas evaluados. A continuación vamos a evaluar los nueve criterios propuestos por HOLANDA (1976), describiendo su adecuación a los criterios de arquitectura bioclimática.

4.3 LAS RECOMENDACIONES DEL GUIÓN DE ARMANDO DE HOLANDA

La aplicación directa de las recomendaciones de Armando de Holanda para la evaluación de edificios fue utilizada por CARMO FILHO (2005) y LIMA & LEDERER (2011) y citado en numerosas bibliografías relacionadas con el tema de la evaluación de la construcción bioclimática. En esta tesis, sin embargo, se buscó una sistematización del proceso, la aplicación de las recomendaciones de Holanda para la evaluación de la envolvente del edificio, teniendo en cuenta, en el análisis, la atención conjunta basada en el concepto de "piel" que se definió anteriormente. Además, hemos desarrollado un método iconográfico, basado en los dibujos originales de Holanda, con el fin de facilitar la asimilación y difusión del proceso de evaluación y los conceptos propuestos por él.

Según SILVA (1996), Armando fue el primer arquitecto brasileño a formular una teoría de la armonía con la arquitectura en los trópicos y escribió un libro valioso y objetivo. De hecho, Armando ya había sido precedido por otros tres pernambucanos y un mineiro², igualmente ilustre. En 1929, el pernambucano Aluizio Bezerra Coutinho, doctor en Medicina en Río de Janeiro, defendió la tesis "Arquitectura en los países cálidos," en la que, pese a que los principios racionalistas enunciados por Le Corbusier ya habían sido divulgados y aprobados, él descubrió el valor ecológico de las chozas de paja del nordeste de Brasil. En 1931, otro médico de Pernambuco, José Mariano Carneiro da Cunha Filho, que sería conocido como el mayor propagandista y teórico del movimiento de la arquitectura neocolonial en Brasil,

² De la provincial del Minas Gerais.

publicó un artículo bajo el título "Arquitectura Mesológica"³ en la que predicaba la reutilización de artificios para la adecuación de la arquitectura al medio, utilizados con frecuencia durante el periodo colonial brasileño. En 1933, el sociólogo y antropólogo pernambucano Gilberto Freyre lanzó su libro "Sobrados e Mucambos" volviendo al desarrollo de la tesis de Aluizio Bezerra Coutinho sobre la ecología de las chabolas. En el año siguiente, el arquitecto Luiz Nunes llegó a Recife y allí dirigió un equipo de arquitectos e ingenieros, que diseñó e implementó una serie de edificios de muros semitransparentes, construidos con elementos huecos de cemento y arena, los "combogós".

LIMA & LEDERER (2011) destacan la importancia del Guión de Armando de Holanda en el entorno cultural en el que creció, como un manifiesto modernista de una arquitectura adaptada al trópico húmedo, la síntesis de un movimiento que integra las ideas de Gilberto Freyre, Burle Marx, Luiz Augusto Nunes y Augusto Reinaldo, entre otros precedentes. Por otro lado, muestra a través del trabajo construido de Glauco Campelo que, una vez realizadas, tales ideas producen una arquitectura bioclimática y que la eficiencia energética se puede probar hoy en día, según la evaluación de métodos y herramientas desarrolladas por los estudios científicos contemporáneos.

La introducción del libro de Holanda valora la arquitectura colonial, un tema ampliamente explorado en los capítulos 1 y 2 de esta tesis, como referencia importante para la búsqueda de la adaptación al clima:

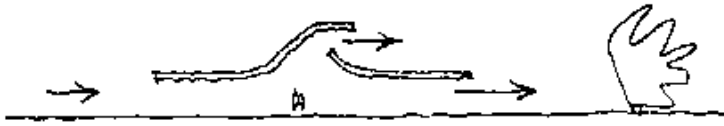
³ Mesologia es la ciencia que se refiere a la relación entre el hombre y su entorno o ambiente.

Después de la ruptura de la tradición luso-brasileña de construcción, que se produjo en el siglo pasado y que trajo daños al concepto de edificio, como un medio de aliviar el calor de los trópicos y de corrección de sus excesos climáticos, no se ha desarrollado hasta hoy un conjunto de técnicas que permitan diseñar y construir con el objetivo de la adecuación del edificio.
(HOLANDA, 1976)

Si bien no son totalmente originales, las recomendaciones de Holanda sugieren importantes soluciones arquitectónicas que tienen como objetivo proporcionar un rendimiento térmico y lumínico satisfactorio para los usuarios de los edificios ubicados en las regiones de clima cálido y húmedo. Las recomendaciones propuestas por Holanda incluyen un sistema de refrigeración pasiva, utilizando el potencial de la inercia térmica de los materiales, la sombra de la vegetación y la ventilación natural para reducir la temperatura interna. Sumado a esto, la preocupación con el "destino" de la arquitectura y la importancia que representa para la sociedad como una respuesta a la actual tendencia a distanciarse cada vez más de los conceptos básicos y milenarios, como la búsqueda de la comodidad y la adecuación climática (CARMO FILHO, 2005).

A continuación, se hace una descripción de los 9 puntos propuestos por Holanda y un breve análisis de cada uno. El texto de Holanda, pragmático y brillante en su sencillez, no requiere grandes aclaraciones.

4.3.6 CREAR UNA SOMBRA



4.17 – Cubierta ventilada (HOLANDA, 1976).

Vamos a empezar con una amplia sombra, un refugio de protección contra el sol y las lluvias tropicales; de una sombra abierta, donde la brisa penetre y circule libremente, y elimine el calor y la humedad; para una agradable sombra vamos a recurrir a una cubierta ventilada que refleje y aíse de la radiación del sol; por una sombra alta, con el alivio de espacio y mucho aire para respirar. Vamos a empezar por una cubierta determinada, capaz de ser valorada por la luz e incorporar su propia sombra como un elemento significativo. (HOLANDA, 1976, p. 11 y 13).

Estar bajo la sombra de un árbol tal vez sea el verdadero sentimiento de comodidad experimentada por los brasileños. En las regiones norte y nordeste es muy común que las personas duerman en los porches y las casas solamente se cierren por cuestiones de patrimonio. Es decir, la arquitectura funciona como un gran sombrero y sólo se cierra para la protección y refugio de las precipitaciones más intensas.

La recomendación de "crear una sombra" se refiere a la proposición de una cubierta amplia, con aleros generosos, incluso con la posibilidad de renovar el aire caliente que se acumula debajo de la cubierta. Hay un reconocimiento del importante papel que desempeña la cobertura en el aspecto formal de la construcción. La salida del aire caliente puede ser aumentada a través de algunas estrategias pasivas, entre las que destacan los *sheds*, claraboyas, áticos y cubiertas completamente alejadas del techo, incluso del resto del edificio. En la construcción vernacular del Nordeste es muy común encontrar tejados de cerámica sobre el maderamen. En este tipo de cubierta, además de los orificios, la renovación del aire que se acumula debajo de

las tejas ocurre por la separación de las vigas y microespacios entre aquellas.
(CARMO FILHO, 2005)

A este primer punto propuesto por Holanda se le puede completar con las recomendaciones de LAMBERTS, DUTRA & PEREIRA, (1997), que sugieren utilizar la forma y la orientación de manera que maximice la exposición de la edificación a los vientos del verano, orientando correctamente el proyecto y utilizando algunos recursos aplicables a la forma del edificio. El estudio de la forma y de la orientación debe explotar la iluminación natural y favorecer las ganancias de calor solar.

La Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT, 2003), en las normativas que regulan el comportamiento térmico de edificios y directivas constructivas para viviendas de interés social, también aborda la cuestión de la renovación del aire caliente por debajo de la cubierta y se recomienda el uso de tejas de cerámica, sin el uso de cielo raso, para edificaciones en el clima cálido y húmedo.

4.3.7 EMPOTRAR LAS PAREDES

Vamos a empotrar la pared bajo la sombra. Empotradas, protegidas del sol y del calor, de las lluvias y de la humedad, creando zonas externas de estar, terrazas, porches, [...]; locales donde se pueda estar en contacto con la naturaleza y el sol límpido del Nordeste. Evitemos esa arquitectura de volúmenes puros y aislados y vamos a explotar la larga protección, la fachada abierta y sombreada para generar espacios protegidos, donde se pueda participar del curso de los días y noches, animado por la luz, por los vientos y las lluvias:



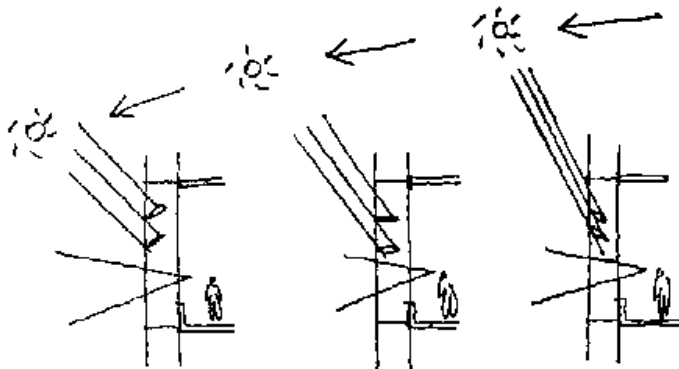
4.18 - El porche como espacio de transición y para la convivencia de los usuarios (HOLANDA, 1976).

lugares de una arquitectura de la experiencia humana en el medio ambiente natural.(Holanda, 1976, p. 17 y 18).

Este es un tema recurrente en la arquitectura brasileña de la época colonial: la protección de los muros contra la lluvia. Ejemplos de edificios rodeados de porches ya se encuentran en Brasil hace 500 años. Esta segunda recomendación, de hecho, complementa la primera, ya que grandes áreas de sombra necesitan áreas cerradas para abrigar determinadas funciones del edificio.

CARMO FILHO (2005) enfatizó que además de la creación de porches como estrategia de sombreado para las fachadas, esta recomendación también posee el objetivo de generar espacios de transición a la interacción de los usuarios.

4.3.8 PROTEGER LAS VENTANAS



4.19 – Protección solar. (HOLANDA, 1976).

Recordemos la lección de Le Corbusier y vamos a proteger las aperturas externas, cuidando las proyecciones y con el quiebrasol, de manera que, al abrigo y a la sombra, puedan permanecer abiertas.

Vamos a estudiar cuidadosamente el sol en las fachadas, para la identificación de su trayectoria en nuestras ciudades durante el año, para que se pueda diseñar una protección eficaz; la protección que, además de crear la sombra en las fachadas, permita la renovación del aire, incluso durante las fuertes lluvias. Evitemos las fachadas acristaladas sin protección, en cuyos interiores todo se desvanece y

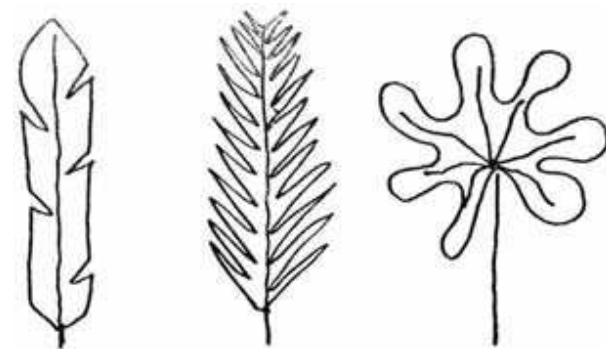
en el que sólo se puede permanecer con las cortinas cerradas aislado del exterior. (HOLANDA, 1976, p. 23 y 25).

La recomendación ya ha sido presentada con mucho detalle en la evaluación del *brise soleil* en el capítulo anterior. La recomendación de Holanda es adecuada en la medida en que la radiación solar directa no es deseable en la mayoría de las regiones de Brasil y en ninguna de ellas en verano. Las ventanas de los edificios, por lo tanto, siempre deben tener algún tipo de barrera contra la insolación. Las soluciones para cumplir con esta función, como se ha visto hasta aquí, son numerosas.

Recordemos además, la regla general de Rafael SERRA (1999), aplicable a todas las etapas y a cualquier tipo de edificio en tiempo cálido: detener la radiación "lo antes posible", es decir, poner las barreras siempre antes de las carpinterías para que la radiación no traspase el cristal, generando el efecto invernadero.

4.3.9 CONVIVIR CON LA NATURALEZA

Vamos a establecer con la naturaleza tropical una comprensión sensible de modo que podamos intervenir en ella con equilibrio. No permitamos que el paisaje natural -que ya fue continuo y grandioso- continúe siendo reducido y destruido. Vamos a utilizar generosamente la sombra de la vegetación, haciendo que los árboles de los jardines, caminos, aparcamientos, plazas y parques se integren y se extiendan a lo largo de las playas y campos. Vamos a rechazar los jardines de vegetación menuda y delicada, en el césped



4.20 – Hojas largas. (HOLANDA, 1976).

ordenado y bien comportado, y vamos a aceptar el carácter salvaje y gigantesco de la naturaleza tropical. (HOLANDA, 1976, p. 39, 41)

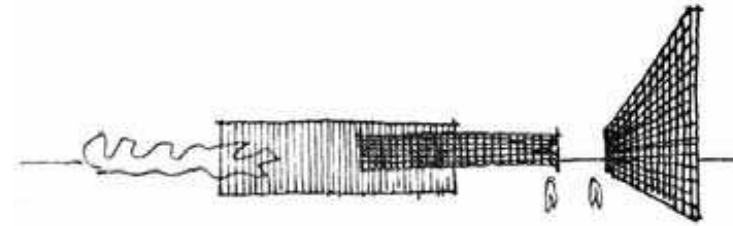
Sin duda, una de las mayores aportaciones de la arquitectura moderna a la vida contemporánea es el rompimiento de los límites espaciales entre interior y exterior. La definición de los espacios interiores ya no está más atada al diseño estructural. El uso de los sistemas viga-pilar en redes ortogonales genera la flexibilidad necesaria para definir el espacio interno lo mejor posible. La arquitectura racionalista creó una relación "interna-externa" entre el edificio y el medio sin precedentes, posibilitando el contacto sin barreras entre el habitante y la naturaleza. Este legado de la arquitectura moderna hizo posible esta recomendación de Holanda, muy adecuada al clima de Brasil.

Recordemos la relación de los arquitectos pernambucanos con el paisajismo moderno, cuya figura más representativa fue Burle Max⁴. Además de la interacción visual con el paisaje, Holanda recomienda al ambiente construido un sombreado auxiliar, generado por un paisajismo basado en la flora nativa.

⁴ Roberto Burle Marx fue un artista brasileño, reconocido internacionalmente por ejercer la profesión de arquitecto paisajista, responsable de la creación de los conjuntos paisajísticos más importantes en Brasil, como el Aterro del Flamengo en Río de Janeiro, o los Jardines de la Esplanada de los Ministerios, en Brasilia.

4.3.10 AGUJEREAR LOS MUROS

Combinemos las paredes compactas con muros agujereados, para filtrar la luz y dejar que el viento penetre. Vamos a sacar partido de las inmensas posibilidades constructivas y plásticas de este elemento constructivo -el combogó- que puede tomar una amplia gama de configuraciones entre la filigrana y el juego de relieves. Vamos a desarrollar nuevos modelos mediante el estudio de la disposición de los tabiques y la relación de llenos y vacíos, en función de la orientación de los sitios que serán utilizados, y los niveles deseados de iluminación para valorar el combogó como elemento constructivo y expresivo de una arquitectura abierta en los trópicos. (HOLANDA, 1976, p. 19, 21).



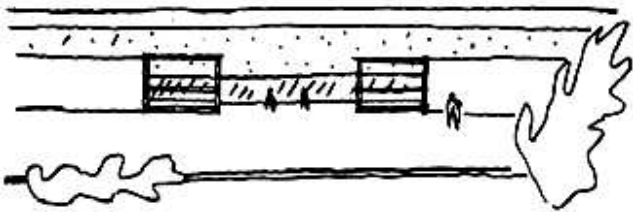
4.21 – Muros agujereados. (HOLANDA, 1976).

Con "agujerear los muros," Holanda se refiere principalmente a las paredes de combogó, así como a las celosías de madera y pérgolas que configuran planos verticales u horizontales, y por lo tanto se debe considerar como forma de atención a las recomendación de Holanda (CARMO FILHO, 2005).

Agujerear las paredes, sea con simples agujeros circulares empotrados en la albañilería o con sofisticados sistemas de pantalla, es una de las principales estrategias utilizadas para asegurar el cerramiento de los espacios, al mismo tiempo en que permite el paso del aire. Recordemos que el Cobogó, citado por Holanda, tiene su origen atribuido a la región del noreste, a pesar de estar presente en distintas formas en arquitectura alrededor del mundo.

SERRA&COCH (1995) señalan además que en este tipo de clima no es ninguna ventaja la inercia térmica de los edificios, al ser muy reducidas las variaciones de las temperaturas día-noche y entre estaciones. Como la radiación es intensa, resulta crítico obtener la máxima protección posible, ya que se busca detener no sólo la radiación directa, sino también la difusa, importante en estos climas.

4.3.11 ABRIR PUERTAS



4.22 - Integración del espacio externo con el espacio interior. (HOLANDA, 1976).

Tratemos de entender el flujo entre el paisaje y la vivienda, entre el interior y el exterior, para diseñar puertas que sean una invitación a los contactos entre el mundo individual y colectivo; puertas protegidas y sombradas que puedan permanecer abiertas... Diseñemos las puertas exteriores con rendijas, capaces de proporcionar la privacidad necesaria y que dejen entrar aire y luz, así como puertas interiores ligeras y versátiles que protejan los ambientes y permitan la circulación del aire. (HOLANDA, 1976, p. 27 y 29).

Es muy importante la ventilación para disipar el calor y reducir la humedad con el movimiento de aire en los espacios interiores. Por esto, los edificios necesitan grandes aperturas y su implantación típica es en formas alargadas y estrechas, independientes y alejadas entre sí, para no crear barreras al viento de unos edificios sobre otros. Para lograr el paso del aire repartido por el interior, son recomendables las aperturas totales de los paramentos de entrada y salida del viento, protegiéndolos de la radiación y las vistas con celosías, persianas, etc. Esta solución

plantea, lógicamente, problemas de privacidad y de falta total de protección acústica que el diseño urbanístico debe tener presente (SERRA & COCH, 1995).

Holanda da un doble sentido a esta recomendación: la primera es la creación de grandes aperturas que promuevan la integración de los internos con el exterior, aprovechando los paisajes y jardines a través del encuadramiento en las carpinterías; y la segunda es el uso de cuadros agujereados que permitan el paso del aire y de la luz del día sin la pérdida de privacidad. Las banderas de vidrio también son aceptadas. Incluso considerado el impedimento del paso de aire y el cambio de la frecuencia de las olas de calor, lo que contribuye al calentamiento del interior, tienen la ventaja de la transparencia, el paso de la luz y la integración visual con el entorno exterior (CARMO FILHO, 2005).

4.3.1 CONTINUAR LOS ESPACIOS

Dejemos el espacio fluido, haciéndolo libre, continuo y que flote. Separemos sólo los lugares donde la privacidad, o las actividades que en ellos se realicen, estrictamente lo recomienden. Vamos a identificar los casos en que los muros deban aislar completamente los ambientes, para no perder la oportunidad de hacerlos libres, sueltos del techo. Mantengamos el interior despejado, la hermosa tradición de la casa del nordeste, la creación de ambientes favorables a que sean coherentes con nuestro temperamento y nuestra forma de vida. (Holanda, 1976, p. 31 y 33).



4.23 – Continuidad espacial (HOLANDA, 1976).

Esta recomendación de Holanda no está directamente relacionada con el objeto de estudio de esta tesis, pues no es parte de la envolvente de los edificios. Pero,

cuando se intenta garantizar el libre paso del aire, la continuidad de los espacios es una recomendación altamente complementaria a todas las otras.

Los espacios interiores fluidos permiten la circulación del aire entre los ambientes internos y entre los ambientes y el exterior. Muchos mecanismos pueden ser utilizados para permitir ese tipo de estrategia, manteniendo no obstante, la privacidad visual del interior (venecianas, celosías etc.) En locales con inviernos más fríos, estos dispositivos deben poder ser cerrados para evitar vientos indeseables (LAMBERTS, DUTRA & PEREIRA, 1997).

Holanda sugiere la continuidad del espacio interior sin impedimentos, a través de la diferenciación de niveles, a veces incluso de los pisos, paredes y cerramientos. Donde es estrictamente necesario, se sueltan los muros del techo para ampliar el campo de visión de los usuarios y permitir el paso de la ventilación y de la luz del día (CARMO FILHO, 2005).

4.3.2 CONSTRUIR CON POCO

Utilicemos materiales refrescantes al tacto y la vista en locales más cercanos a las personas, tales como paredes y pisos. Seamos sensatos y hagamos una reducción en el edificio, reduciéndolo en el sentido de evitar la excesiva variedad de materiales que utilizamos en el mismo edificio. Desarrollemos componentes estandarizados que tengan grandes posibilidades combinatorias, exploremos estas posibilidades para que, desde simples relaciones constructivas, se obtengan ricas relaciones espaciales. Promovamos la racionalización y estandarización de la construcción, contribuyendo a la repetición



4.24 – Modulación de la estructura (HOLANDA, 1976).

del proceso constructivo y la reducción de los costes de la construcción. (HOLANDA, 1976, p. 35 y 37).

Esta sugerencia tampoco está directamente relacionada con la piel del edificio, sino que se refiere a la necesidad de industrializar y estandarizar los componentes de esa piel. La industrialización de la construcción y la definición de normas claras para los procesos constructivos son necesarias para la viabilidad económica de las soluciones de la envolvente. Las actuales posibilidades de producción sobre demanda abren numerosas oportunidades para el aumento del nivel de industrialización de nuestros edificios, sin perder las características individuales y estéticas, teniendo en cuenta, además, las especificidades de cada clima local.

De acuerdo con CARMO FILHO (2005), en esta recomendación, la reducción de los costes de la obra se basa en la racionalización tanto del sistema estructural como en la especificación de los materiales. Holanda también sugiere el uso de materiales "refrescantes", disponibles en la región en la que se construyó el edificio. La atención a la recomendación "construir con poco" se considera adecuado cuando el sistema estructural es modular y cuando hay racionalidad en la especificación de los materiales.

No hay un material universal para todo tipo de construcción, esta es la hipótesis apoyada por Holanda. Él sabía que para una determinada escala de producción se pueden cambiar los detalles, producir nuevos componentes. La industria tiende a reducir las alternativas para aumentar sus ganancias, pero el investigador, el hombre de tecnología y del proyecto, debe explotar nuevas/otras posibilidades. El camino de la industrialización es la diversificación, no el de la normalización total.

Holanda propone, por ejemplo, la recuperación de un material utilizado en diversos edificios en el nordeste de Brasil, el combogó: "ligero, durable y económico, sin necesidad de mantenimiento y con alto grado de estandarización dimensional" (ZACCARIA, 2010).

4.3.3 CONSTRUIR FRONDOSO



4.25 – Adecuación al medio ambiente (HOLANDA, 1976).

Vamos a deshacernos de esta cultura de dependencia en relación con los países más desarrollados, que ha disminuido mucho la afirmación de una arquitectura decididamente cómoda en los trópicos de Brasil. Desarrollemos una tecnología de construcción tropical, que proporcione los recursos necesarios para satisfacer la enorme demanda de edificios de nuestro país, no sólo en términos de cantidad, sino también de calidad. Trabajemos hacia una arquitectura libre y espontánea, que sea una clara expresión de nuestra cultura y revele una apropiación sensible de nuestro espacio. Trabajemos hacia una arquitectura abierta, sombreada, continua, vigorosa, acogedora y atractiva, que cuando se ponga en armonía con el ambiente tropical, nos incite a vivir plenamente en él . (HOLANDA, 1976, p. 43).

Armando de Holanda trata de rescatar los principios de la arquitectura vernacular. Hecha en los trópicos para los trópicos. Inspirado en las cabañas de los nativos y en las casas de las haciendas, propone no una imitación, sino una recuperación de la misma. Él quería una arquitectura del sombreado, abierta y acogedora. Una

arquitectura que se compara metafóricamente a la sombra de un árbol que sirve de refugio para el medio ambiente tropical (ZACCARA, 2010).

SERRA & COCH (1995) recuerdan que en la vivienda tradicional de estas zonas cálidas-, la cubierta es un elemento muy importante, ya que debe tener la función de sombrilla y de paraguas. En ciertas regiones, se llega a descomponer la cubierta en muchas cubiertas superpuestas, que se hacen sombra mutuamente y permiten el paso del aire. Las cubiertas típicas de estas zonas tienen gran inclinación, para evacuar las frecuentes lluvias, y dejan aperturas entre sus diferentes planos, para permitir la salida del aire. Los anchos voladizos protegen de la radiación solar y de la lluvia, permiten la ventilación y se convierten, a veces, en porches o galerías abiertas que generan un espacio sombreado para descansar o dormir. Son cubiertas de poco peso, para evitar el almacenamiento del calor de la radiación, y que permiten una cierta "respiración", para evitar condensaciones y el calentamiento del aire.

La suma de las ocho recomendaciones presentadas y evaluadas anteriormente forman la última sugerencia de Holanda: "Construir Frondoso". Gran parte de las recomendaciones se refiere a la envolvente del edificio y está directamente relacionada a la orientación del sol y a la ventilación predominante. La arquitectura de tipo monobloque, compacta y con volúmenes definidos no coincide con la propuesta de grandes áreas cubiertas sobre un núcleo pequeño. Múltiples capas de la envolvente, junto con grandes áreas sin barreras hacia el exterior puede ser la imagen que mejor define el construir frondoso: un árbol, en fin.

CARMO FILHO (2005) propone que el libro de Armando de Holanda pueda ser sintetizado por la siguiente expresión:

“Sombra + Ventilación + Integración espacial + Racionalización
=Arquitectura Frondosa” (CARMO FILHO, 2005. p. 112)

4.4 EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE LOS EDIFICIOS DESDE LOS CRITERIOS DEL GUIÓN DE HOLANDA

Para la atención a las recomendaciones de Holanda es necesaria la evaluación de tres estrategias principales en el diseño de la piel: la primera son las estrategias de la envolvente que pretenden crear sombras en los edificios, que permiten la mejora del confort térmico a partir de la disminución de la radiación solar que penetra en los edificios y que calienta los muros, lozas y objetos, causando el calentamiento de los espacios internos; la segunda engloba las estrategias en el diseño de las envolventes destinadas a mejorar la ventilación y la permeabilidad del aire hacia los espacios internos; y la tercera se refiere a la viabilidad de estas estrategias a través de la industrialización de los elementos de la piel y del aumento de la racionalización constructiva con estrategias tales como la modulación.

4.4.1 LA PIEL PARA LA SOMBRA

Son evaluadas las cubiertas ventiladas, la orientación solar y los elementos de protección solar, tales como: aleros, sistema de cubierta, la existencia o no de balcones o porches, y elementos extras de protección como: ventanas con persianas, brises, celosías, cobogós y pérgolas. Para la evaluación de las sombras y de la radiación solar incidente en el edificio, se utilizan modelos 3d de los edificios diseñados con el software Google Sketchup 8,0⁵. Este modelo ha sido exportado

⁵ Copyright © 2010 Google Inc.

para los software Ecotect y Vasari, de la Autodesk inc⁶. La evaluación de las sombras y de la radiación solar está hecha con y sin los dispositivos específicos de protección utilizados en la piel del edificio como manera de comparar la eficiencia de estos dispositivos. Se presenta inicialmente un modelo con el trayecto del sol a lo largo de todo el año en la ubicación exacta de los edificios. Los resultados con la franja de sombra se muestran gráficamente, con la herramienta "shadowrange" del software Ecotect⁷, generada en el entorno y de los espacios interiores principales de los edificios. La radiación solar está medida en el solsticio de verano de forma acumulativa a lo largo del día. Ésta también se enseña con y sin los dispositivos de sombra para evaluar la eficiencia de éstos en la reducción de la radiación solar directa. Se describen seguidamente las distintas herramientas utilizadas para comprender mejor los análisis del próximo capítulo.

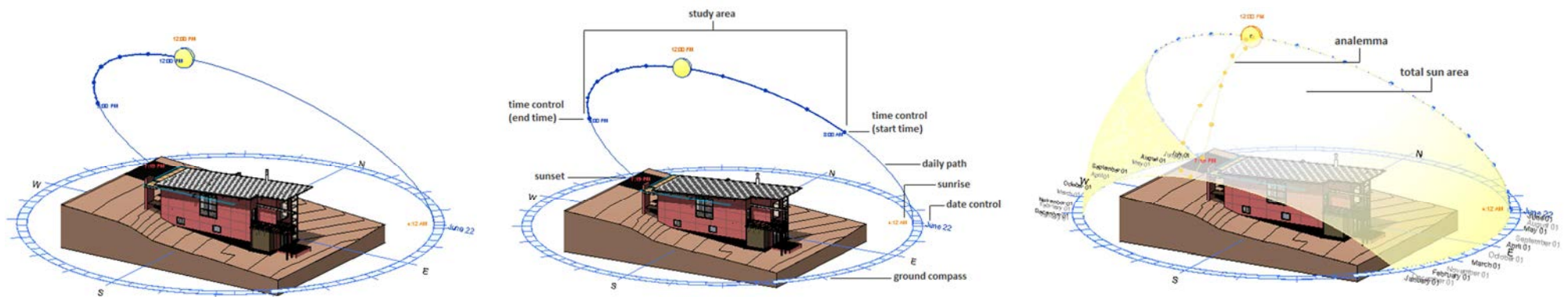
Autodesk ® Project Vasari es una herramienta de diseño para la creación de construcciones conceptuales, con un análisis integrado de la energía y de las emisiones del carbono. La herramienta se centra en el diseño conceptual que utiliza el modelo geométrico y paramétrico. Es compatible con el diseño basado en el rendimiento, gracias al modelo de energía integrado y a funciones de análisis.

⁶ Copyright 2011 Autodesk, Inc.

⁷ Toda una serie de sombras, en un período de tiempo determinado, se superponen para formar una imagen síntesis.

TRAYECTORIA SOLAR

La trayectoria del sol es una representación visual de la gama del movimiento del sol por el cielo en una ubicación geográfica específica para el proyecto. La trayectoria del sol aparece en el contexto de su proyecto e incluye controles en pantalla para situar el sol en cualquier punto dentro de su abanico de posibles movimientos, entre la salida y la puesta del sol, durante todo el año. Se pueden crear los estudios solares ubicando el sol en cualquier punto a lo largo de su trayectoria diaria, y en cualquier punto a lo largo de su analema (como se describe en las siguientes ilustraciones y tablas).



4.26 – La herramienta de control del trayecto del sol. (Autodesk, 2012)

RADIACIÓN SOLAR

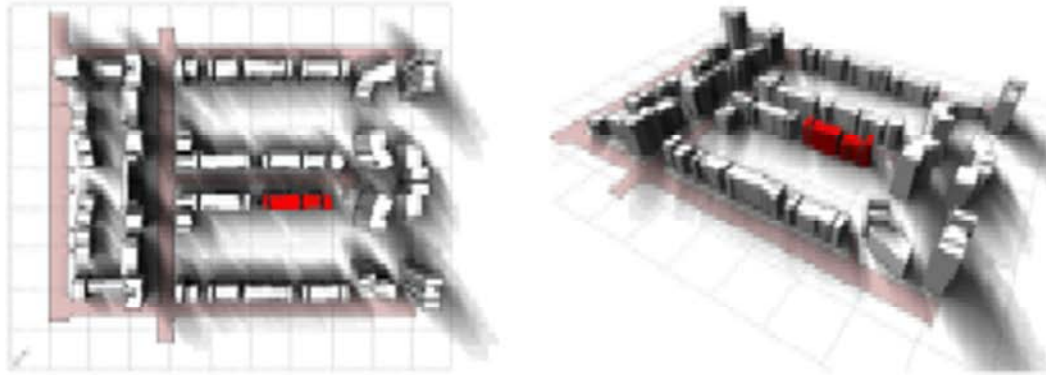
En Vasari, esta función permite visualizar la distribución de la radiación solar en diferentes áreas de un modelo, teniendo en cuenta los efectos de sombreado de los objetos adyacentes, como la vegetación y los edificios circundantes en un entorno

urbano. Esta característica puede ayudar a identificar las mejores áreas para maximizar la ganancia solar, teniendo en cuenta el efecto de sombreado y las variaciones estacionales de la radiación solar. El tipo de datos de radiación solar que se mostrarán en el modelo se encuentra en el sitio. Las opciones predeterminadas son las siguientes:

- Acumulativa. El total de todos los valores calculados para el período de estudio.
- Media. La media aritmética de los valores (por hora) calculado para el período de estudio.
- Pico. El valor máximo calculado durante el período de estudio.

SUPERPOSICIÓN DE LAS SOMBRAS

El "shadowrange" se refiere a la pantalla de sombras sobre una serie de veces en un día dado. Esta pantalla también se refiere comúnmente como un diagrama de mariposa. Se puede controlar, en el panel de configuración de sombra, las horas de inicio y final, y el valor del intervalo.



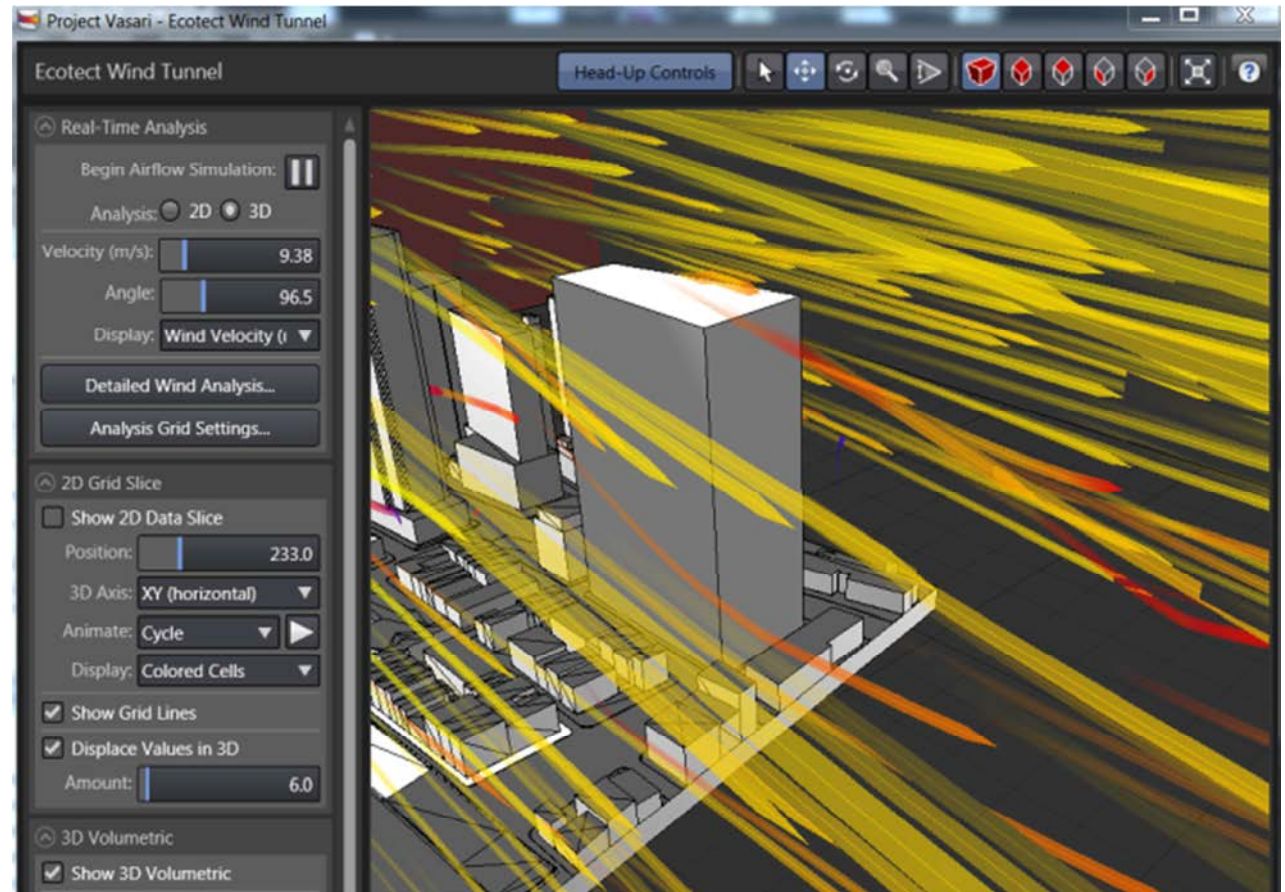
4.27 - La herramienta de superposiciones de las sombras. (Autodesk, 2012)

4.4.2 LA PIEL PARA LA VENTILACIÓN

Son evaluados la continuidad del espacio, el uso de espacios integrados, patios interiores y jardines, sistemas de apertura con posibilidad de conexión entre los espacios interiores y los ambientes externos. Ha sido utilizada la herramienta "Wind Tunel Ecotect Analysis", del software Vasari. Se diseñó el entorno de los edificios y han sido destacados espacios específicos para el análisis, generando imágenes con las distintas velocidades del viento alrededor del modelo.

Todas las formas de análisis de CFD, ya sea en esta función o en una aplicación dedicada CFD, requieren una interpretación de sus resultados para ser aplicado de manera significativa. Sin embargo, ya que son altamente visuales e interactivas, herramientas con estas características pueden ayudar realmente a entender estas limitaciones y sus efectos, a medida que se adquiera experiencia en la experimentación con diferentes modelos y en diferentes condiciones.

ECOTECT SIMULADOR DE TÚNEL DE VIENTO



4.28 - Flujo de trabajo del vídeo: ejecución de simulaciones en túnel de viento (AUTODESK, 2012).

La función Ecotect de túnel de viento utiliza la dinámica de fluidos computacional (CFD: *computational fluid dynamics*) en simulaciones con el fin de analizar el impacto potencial de la velocidad y dirección del viento en el proyecto. La función de túnel de viento permite ejecutar cualquiera de los análisis de flujo de aire en 2D o

3D con un control de cuadrícula interactiva y múltiples opciones para la visualización de los datos del análisis y la forma en que interactúa con su modelo. Es necesario especificar la ubicación del proyecto y seleccionar una estación meteorológica. A pesar de que Vasari está en fase experimental, o sea que los valores de velocidad del viento todavía no han sido comprobados con la comparación con mediciones de campo, los aspectos relativos a la penetración del viento y de permeabilidad de la piel del edificio al viento pueden ser evaluados con la herramienta.

4.4.3 LA RACIONALIZACIÓN DE LA PIEL

En la tipología constructiva se verifica el uso de elementos modulares e industrializados. Los elementos serán aislados y presentada su solución constructiva y estructural. De cada uno de los modelos producidos de los edificios, se hace una representación explotada, con el desglose de cada una de las pieles del edificio. Estas capas son evaluadas según las recomendaciones de Holanda con base a la tabla 1.

4.4.4 REPRESENTACIÓN ICONOGRÁFICA A PARTIR DE LOS PUNTOS PROPUESTOS POR HOLANDA

En base a las recomendaciones adoptadas han sido desarrollados los iconos que componen la siguiente tabla que asocia cada uno de los puntos de Holanda a una representación iconográfica. Esta representación funcionará como un elemento visual para evaluar los edificios de acuerdo con estos principios y puede convertirse en una aportación de la tesis para la sistematización de futuros análisis.

Tabla 1 - Representación iconográfica de las recomendaciones de Holanda.
Adaptado de los bocetos de Holanda para la representación de cada una de las estrategias.

	Recomendaciones Holanda	Estrategias		Recomendaciones Holanda	Estrategias
	Crear una Sombra	Cubiertas amplias, Pocas barreras Estructura ligera e independiente		Agujerear los Muros	Cobogós Pantallas Celosías
	Empotrar las Paredes	Aleros Porches Logias		Abrir Puertas	Carpinterías dobles Puertas correderas Paneles móviles
	Proteger las Ventanas	Rendijas Venecianas Brises Cobogós		Continuar los Espacios	Pocas paredes interiores Espacios continuos Estructura independiente
	Convivir con la Naturaleza	Transparencia Balcones Pasos exteriores		Construir con Poco	Industrialización del sistema constructivo Estandarización de la construcción.
				Construir Frondoso	Construcciones en pabellones Integrar espacios externos e internos

CONSIDERACIONES SOBRE LA SEGUNDA PARTE:

Al analizar los cinco puntos propuestos por Corbusier, se percibe que algunos de estos puntos se derivan de la preocupación del arquitecto con la inserción de la obra en el sitio y la adecuación al clima. Los brises, ventanas horizontales, la terraza jardín y el pilotes, permite una arquitectura más abierta, transparente a la luz solar y donde el aire puede entrar libremente.

Sin embargo, como se explica en este estudio, esta aparente adecuación al clima no responde por igual a todos los climas. Permitir una fachada acristalada libre tiene mucho más que ver con ganancia de temperatura a través la radiación que de la protección solar. Del mismo modo, la terraza jardín bajo el sol no es un lugar agradable para estar en un clima tropical.

De ahí la necesidad de encontrar alternativas para la atención a los criterios bioclimáticos en un clima tropical. En este sentido, las recomendaciones propuestas por Armando de Holanda, algunos de ellas incluso presentes en los puntos defendidos por Le Corbusier, se presentan más apropiadas para el clima brasileño.

Este estudio busca, a través de los ejemplos estudiados en la arquitectura moderna brasileña, soluciones que son equivalentes a recomendaciones, como del Holanda. De ahí la necesidad de establecer criterios cualitativos y cuantitativos para esta evaluación. Como criterio cualitativo, se sistematizaron las recomendaciones de Holanda en una propuesta de evaluación ambiental dividida en tres partes: la piel de la sombra, la piel para la ventilación e industrialización de la piel.

Todo esto conectado al clima brasileño que, como se dijo, tiene un alto grado de homogeneidad en todo el territorio. Se advierte que la arquitectura que se está haciendo en Brasil, incluso las auto construcciones encontradas en barrios pobres y en las zonas periféricas de las grandes ciudades, a mucho se ha olvidado del tema del clima como protagonista de las técnicas y estrategias constructivas.

Este conjunto de recomendaciones cualitativas y cuantitativas son necesarias para complementar los estudios presentados y los ejemplos encontramos para sistematizar y promover que estos criterios sirvan como un modelo a ser adoptado en la arquitectura de este país.

A partir del estudio de la historia de la arquitectura moderna, se llega a este punto, donde creamos criterios que se utilizarán en los estudios de caso en el capítulo siguiente.