

# 9. CONDICIONANTES DEL CONFORT TÉRMICO

J.P. de Nicolás Sevillano, A. de los Santos Gómez, F. Ferrer Ferrer

## RESUMEN

La solución al confort térmico de una edificación depende de múltiples factores externos e internos. Los primeros configuran el escenario en el que se enmarcan las múltiples características adaptativas internas que configuran los organismos. Dicho escenario está integrado por factores ecológicos como la radiación, la precipitación y la biodiversidad, y por los factores socioeconómicos como la disponibilidad de petróleo u otras fuentes de energía, la coyuntura económica, la visión sobre la realidad, el desarrollo científico y la tecnología, si bien entre los diferentes factores sólo se prestará especial atención a los más trascendentes como la disponibilidad de energía, la ecoeficiencia, la complejidad de los proyectos, la comprensión de las soluciones y la operatividad de la metodología.

Cuando la energía no es limitante, las soluciones adaptativas suelen optimizar la potencia, mientras que si la energía es limitante las soluciones adaptativas suelen optimizar la eficiencia energética.

Además, en ambos casos, la solución concreta depende de la complejidad de los proyectos. Así, mientras en el caso de proyectos simples se pueden lograr soluciones adaptativas aplicando criterios inspirados en la arquitectura popular y en las formulaciones de Vitrubio, en el caso de proyectos de complejidad media se ha recurrido a consumir energía fósil para mejorar el confort térmico, y cuando se trata de proyectos muy complejos como consecuencia de la crisis energética y ambiental, se precisa aplicar criterios de arquitectura bioclimática y mejorar la información climática gracias a la información climática ambientalista y la información climática sistémica.

## VARIACIÓN MEDIOAMBIENTAL Y ADAPTACIÓN DE LOS ORGANISMOS

### Dinámica de la Noosfera y adaptación de los organismos

La Noosfera representa el sistema que resulta de la interacción de los elementos, factores y procesos ecológicos de la Biosfera con los elementos, procesos, factores y condiciones socioeconómicas y culturales debidas a la acción humana. A ello contribuye el marco en el que se diferencian estructuras de carácter natural y cultural con diferente nivel de entidad, representadas por especies, poblaciones, ecosistemas, paisajes, ciudades, sociedades políticas y realidades culturales, entre las cuales subsisten las estructuras que presentan características adaptadas a las condiciones ambientales del escenario ambiental o medioambiental que condiciona su nicho o conjunto de condiciones necesarias para subsistir.

Desde la perspectiva en que se considera el concepto de la Noosfera, la realidad se considera fruto de cierto equilibrio entre las características de la Noosfera, el nicho de los organismos y su capacidad para adaptarse al cambio ambiental. A este respecto, el nicho se sitúa a caballo entre las condiciones ambientales, fruto de la dinámica de la Noosfera, y las adaptaciones de las especies, de las poblaciones y de las organizaciones, fruto de diferentes niveles de regulación que permite el ajuste entre la dinámica ecológica y socioeconómica y la adaptación de los esquemas y organizaciones (figura 9.1).

La regulación y ajuste de los organismos y organizaciones al cambio del medio, de cuyo resultado depende la subsistencia, se produce como resultado de procesos que actúan a diferentes niveles (figura 9.2).



Figura 9.1. Relación entre la Noosfera y la adaptación de las especies y organizaciones.

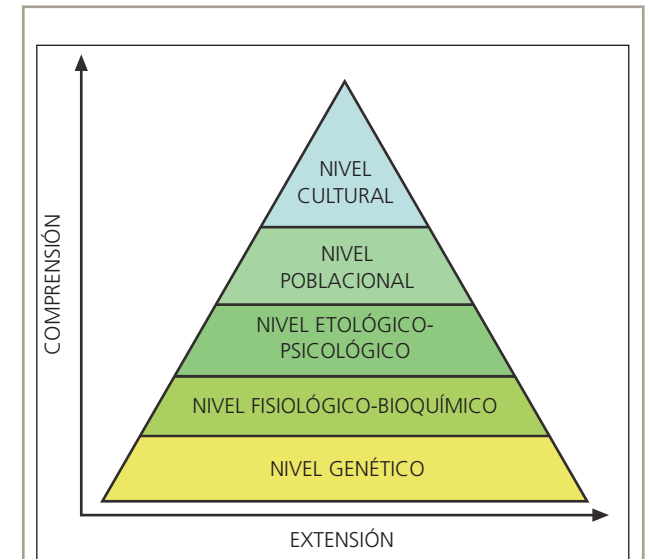


Figura 9.2. Diferentes niveles de regulación del ritmo de la población humana, subsistiendo las entidades que resultaran adaptativas.

Para ejemplificar la regulación a nivel genético se puede referir la diferenciación entre homeotermos y poiquilotermos; la regulación a nivel bioquímico se ejemplifica a través de la producción de calor interno para mantener estable la temperatura pese a la variación de la temperatura ambiental; la regulación a nivel fisiológico mediante la intervención de una serie de mecanismos que regula el intercambio de calor entre el cuerpo y el medio; la regulación a nivel etológico a través de la variación de las actividades de los organismos, la utilización de refugios y la migración como respuestas a las condiciones ambientales; y la regulación a nivel psicológico a través de la percepción, valoración y respuesta del confort térmico. Por último, la evolución cultural ha venido adquiriendo un importante papel, que en nuestro caso constituye o representa un papel clave.

Así, la realidad es resultado del equilibrio entre la dinámica de la Noosfera y la regulación genética, bioquímica, fisiológica, etológica, psicológica y cultural de los organismos y de las organizaciones, lo que se traduce en la ocupación de ciertos nichos, ocupación que depende de múltiples factores y que desde la perspectiva humana se puede asociar a los condicionantes de diferentes componentes de la subsistencia como la calidad de vida humana o el confort térmico.

El ajuste referido puede desfasarse cuando la dinámica de la Noosfera modifica el medio hacia una realidad simple de la dinámica evolutiva que regula el nicho de los organismos, en cuyo caso sólo cabe, para evitar la desaparición de algunas especies, poblaciones u organizaciones, recuperar el equilibrio perdido o alcanzar un nuevo equilibrio fruto de un proceso evolutivo cuya velocidad se adecúe a la velocidad de cambio ambiental.

### Nicho humano y confort térmico

El nicho humano se diferencia del nicho del resto de los organismos porque además de los mecanismos de regulación biológica, intervienen mecanismos de regulación cultural como el desarrollo de tecnologías y sistemas de gestión que han posibilitado que las condiciones ambientales limiten menos la distribución y el tamaño de las poblaciones que el resto de los organismos. Esto ha ocurrido gracias al desarrollo de adaptaciones cul-

turales que han posibilitado que aumente continuamente el tamaño y distribución de la población humana al posibilitar resolver los problemas que limitan el crecimiento de otras poblaciones.

Entre los factores ambientales con especial importancia se encuentran los relacionados con la obtención de energía metabólica y extrametabólica, así como problemas relacionados con la adaptación a las condiciones bioclimáticas del medio a través de la evolución biológica y cultural de los organismos y de la población humana, problemas cuya complejidad ha ido aumentando con el tamaño de esta última.

Los primeros problemas culturales eran simples al depender de pocos factores, directamente perceptibles, como la variación de la temperatura local a corto plazo, que podían resolverse mediante adaptaciones culturales relativamente elementales surgidas por prueba y error y transmitidas a través de la cultura popular. Sin embargo, según fue aumentando la población, el desarrollo tecnológico y la utilización de energías fósiles, se intensificó la explotación del medio, se alteraron los mecanismos reguladores de la dinámica de la Noosfera y se provocaron desajustes entre las condiciones medioambientales y las características adaptativas de las diferentes especies, poblaciones y organizaciones socioeconómicas y culturales.

El desajuste se produce fundamentalmente al acelerarse los cambios ambientales mientras que permanece estable la capacidad de la evolución biológica para recuperar el equilibrio entre el medio ambiente, las características del nicho de los organismos y las adaptaciones de éstos, lo que puede llegar a motivar la desaparición de muchos de ellos debido a la limitación de la evolución biológica. Sin embargo, el hombre moderno ha logrado subsistir y crecer gracias a que su capacidad de evolución cultural le permite reconstruir el equilibrio perdido con las condiciones del medio o alcanzar nuevos equilibrios al aumentar la velocidad adaptativa hasta igualar a la velocidad de cambio del medio.

Gracias a la especial velocidad adaptativa que le confiere la evolución cultural, el hombre ha subsistido a numerosos cambios del medio, aumentando su población, el confort térmico y la calidad de vida a corto plazo. Sin embargo, el resultado a medio y

largo plazo no ha sido positivo debido a que, al alterarse los mecanismos de regulación ecológica se ha acelerado el cambio del medio ambiente, motivando desfases entre éste, el nicho humano y el nicho de otras especies, disminuyendo la calidad de vida humana a corto plazo y las posibilidades de subsistir a medio y largo plazo.

Ante la perspectiva expuesta, en el caso del hombre la situación podría superarse desarrollando adaptaciones culturales relacionadas con la gestión y la tecnología que permita aumentar la velocidad adaptativa hasta llegar a ser equivalente a la velocidad de los cambios, de forma que se garantice la subsistencia y la calidad de vida humana y la subsistencia del mayor número de especies, manteniendo en lo posible la biodiversidad.

### Energía, condiciones climáticas y confort térmico.

Entre los factores claves para la subsistencia humana y de otros organismos se encuentran los relacionados con la obtención de energía y las condiciones de temperatura en la que se puede vivir lo que, a su vez, depende de la actuación de mecanismos de regulación que actúan a nivel genético, a nivel fisiológico, a nivel etológico, a nivel geológico y a nivel cultural, entre los cuales algunos adquieren especial protagonismo en un momento en función del tipo y velocidad de cambio del medio. Según las circunstancias, estos mecanismos de regulación pueden resultar más significativos unos que otros, en función del papel que desempeñan en la dinámica global con lo que es preciso conocerlos (genético, fisiológico, etológico, psicológico, culturalmente) para potenciar la evolución cultural, actuando de forma reflexiva a través de la planificación, el diseño y la gestión comprensiva.

### REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA A NIVEL GENÉTICO

#### Organismos poiquilotermos y homeotermos

Los primeros organismos que aparecieron sobre la Tierra, hace unos 3.800 millones de años, eran organismos procariotas, esto es, organismos sin un núcleo diferenciado, que vivían en un ambiente con elevada temperatura, rico en CO<sub>2</sub>, carentes de oxí-

geno y en el que la energía se obtenía de moléculas existían en el medio marino gracias a su metabolismo heterótrofo.

Posteriormente, hace unos 2000 millones de años, surgen las cianobacterias, organismos que captaban la energía de la radiación solar y que emitían  $O_2$  gracias a un metabolismo autótrofo. El oxígeno que emitían se combinaba con el hierro disuelto en unos océanos de color pardo que le confería el hierro, formándose óxidos de hierro que se precipitaban al fondo, posibilitando que los mares fueran aclarándose, llegando a hacerse transparentes al precipitarse todo el hierro al fondo marino. Esto motivaría que, a partir de entonces, el  $O_2$  se fuera acumulando en el agua marina hasta saturarla, iniciándose la difusión de oxígeno hacia la atmósfera, cuya concentración en  $O_2$  aumentó hasta alcanzar el 21% de la composición del aire que existe en la actualidad.

El aumento de la concentración de  $O_2$  tendría importantes consecuencias para los organismos anaerobios, debido a que para ellos el  $O_2$  representaba un veneno que imposibilitaba su existencia excepto en zonas concretas en las que se mantenían las condiciones anaerobias, lo que motivó por un lado, la desaparición de multitud de organismos heterótrofos y, por otro, posibilitó que adquirieran valor adaptativo, aumentaran y se diversificaran extraordinariamente los pocos organismos aerobios que pudieran existir, gracias a aprovechar la potencia que les confería la utilización del oxígeno para obtener energía.

La especial capacidad energética de los organismos aerobios posibilitó que progresara la evolución y que se desarrollaran células con un núcleo que se conocen como eucariotas y que presentan características similares a las que forman nuestro cuerpo.

Las eucariotas evolucionaron durante cientos de millones de años hasta que, hace unos 600 millones de años, surgieron los primeros organismos pluricelulares, experimentando hace 500 millones de años un importante salto evolutivo que dio lugar a la extraordinaria diversificación biológica que se conoce como "explosión del Cámbrico" en la que proliferaron los organismos antecesores de los tres grandes grupos filogenéticos: los moluscos, los artrópodos y los vertebrados. Todos ellos se caracterizarían porque su temperatura interna y su actividad estaban estre-

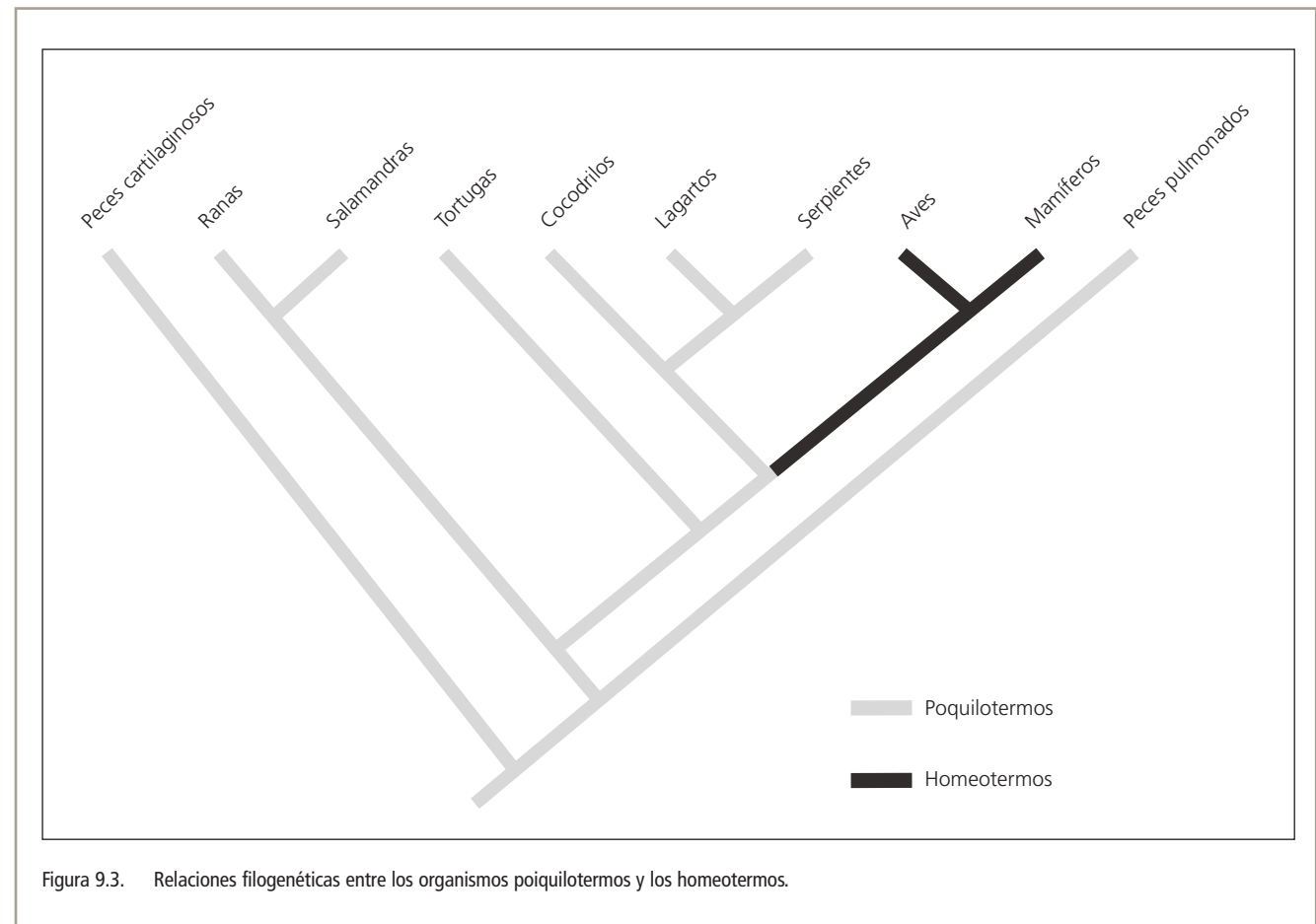


Figura 9.3. Relaciones filogenéticas entre los organismos poiquiloterms y los homeoterms.

chamente condicionadas por la temperatura ambiente, sólo integrada mediante la relación del efecto aislante de la cubierta externa y la inercia térmica de la biomasa, motivos por los que se califica a estos organismos de organismos de "sangre fría" o poiquiloterms.

#### Aparición de los homeoterms

Hace unos 200 millones de años, dentro del grupo de los vertebrados, se diferenciaron los homeoterms, organismos que podían mantener relativamente estable la temperatura interna

pese a la variación de la temperatura ambiente, gracias a que su metabolismo generaba calor interno (endoterms) y a que presentaban adaptaciones fisiológicas y etológicas que regulaban el intercambio de calor entre el interior del organismo y el medio.

Los organismos homeoterms están representados actualmente por las aves y los mamíferos (figura 9.3) cuyos antecesores podían competir con los poiquiloterms gracias a la capacidad que les confería la homeotermia, que les permitía permanecer activos durante un intervalo más amplio de temperatura ambiente, sin tener que reducir su actividad y permanecer aletargados

durante la noche, el invierno y en zonas frías, lo cual permitió que aumentara su tamaño poblacional y su biodiversidad.

### Evolución biológica del hombre moderno

Fruto del intenso proceso evolutivo de los homeotermos, dentro del grupo de los mamíferos se desarrollaron los homínidos, dando lugar a diferentes especies del género Homo en cuya evolución empezó su importante papel, la adaptación al nicho climático específico condicionado por los importantes cambios climáticos experimentados por la Noosfera, caracterizados por la dimensión de las precipitaciones en el África occidental. Estas condiciones llevaron al género Homo, a través de importantes adaptaciones, a la adquisición del desplazamiento bípedo, lo que permitió obtener, entre otros caracteres adaptativos, la reducción de la radiación solar incidente sobre el cuerpo. Hace unos 200.000 años surgió el hombre moderno, caracterizado por presentar un elevado desarrollo cerebral que le permitía generar adaptaciones culturales capaces de permitir que aumentara continuamente el tamaño de su población.

Las primeras poblaciones humanas fueron adquiriendo adaptaciones culturales elementales que, gracias a que les conferían capacidades adaptativas a corto plazo, les permitió ampliar el tamaño y distribución de su población. Este aumento les obligó a intensificar la explotación del medio para garantizar su subsistencia, originando como efecto secundario la simplificación de la estructura de la alteración de los mecanismos reguladores de los ecosistemas y diversos cambios ambientales relativamente rápidos que afectaron negativamente al crecimiento y a la subsistencia de la población humana, a medio y largo plazo, debido al desfase entre las condiciones del medio y el nicho ambiental, a lo que se unió que las adaptaciones biológicas (bioquímicas, fisiológicas y etológicas) que regulaban la adaptación al medio se produjeron lentamente en el objetivo de restaurar el equilibrio con el medio o de crear nuevos equilibrios: la velocidad del cambio ambiental superaba a la capacidad evolutiva de la especie.

En el escenario de cambio referido al cambio realimentado por el crecimiento de la especie humana desaparecieron diversas especies, incluidas algunas del género Homo, pero el hombre

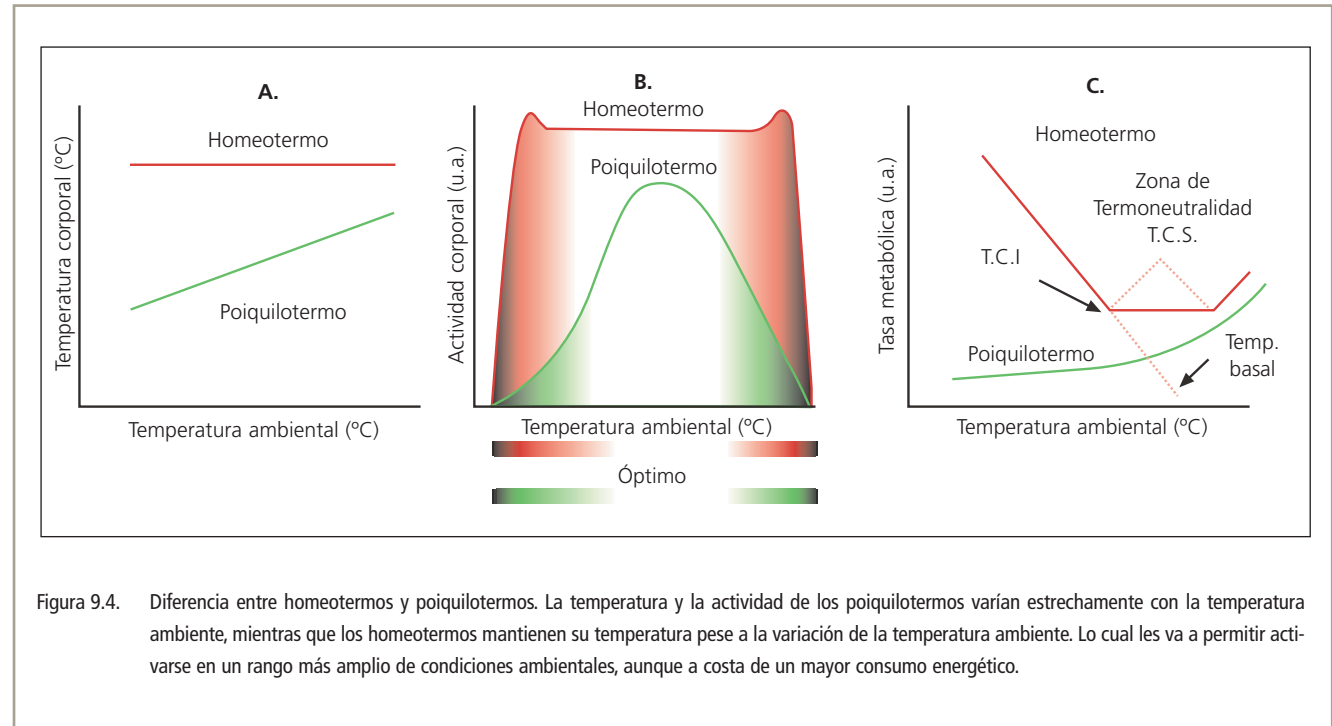


Figura 9.4. Diferencia entre homeotermos y poiquilotermos. La temperatura y la actividad de los poiquilotermos varían estrechamente con la temperatura ambiente, mientras que los homeotermos mantienen su temperatura pese a la variación de la temperatura ambiente. Lo cual les va a permitir activarse en un rango más amplio de condiciones ambientales, aunque a costa de un mayor consumo energético.

moderno pudo subsistir gracias a la capacidad de su cerebro para la evolución cultural, que le permitió desarrollar, al ritmo de los cambios del medio, adaptaciones culturales capaces de restablecer rápidamente el equilibrio del nicho humano con las condiciones del medio ambiente, superando problemas de diferente grado de complejidad.

### ADAPTACIONES BIOQUÍMICAS, FISIOLÓGICAS Y ETOLÓGICAS DE LA TEMPERATURA

#### Adaptación bioquímica

Para ilustrar la regulación bioquímica resulta ilustrativo analizar las diferencias entre los poiquilotermos y los homeotermos. En la figura 9.4 se aprecia que la temperatura interna y la actividad de los poiquilotermos depende directa y estrechamente de la temperatura ambiente, mientras en el caso de los homeoter-

mos la temperatura y la actividad se mantiene homogénea pese al cambio ambiental gracias a presentar adaptaciones en su metabolismo que les permite generar calor (endotermos), adaptaciones fisiológicas que permiten regular el flujo de calor con el medio y adaptaciones etológicas que les permiten seleccionar situaciones más favorables para la subsistencia, que requiere garantizar en el caso de la población humana una temperatura interna en torno a los 37 °C.

En la figura 9.4 se describen las diferencias entre los poiquilotermos y los homeotermos en cuanto a la relación entre la temperatura interna y la tasa metabólica. En los poiquilotermos (A) la temperatura varía linealmente con la temperatura ambiente, mientras que en los homeotermos la temperatura permanece constante pese a variar la temperatura ambiente, al menos dentro de cierto rango. Además, se aprecia (B) que como el rango de temperatura en el cual los homeotermos desempeñan una actividad nor-

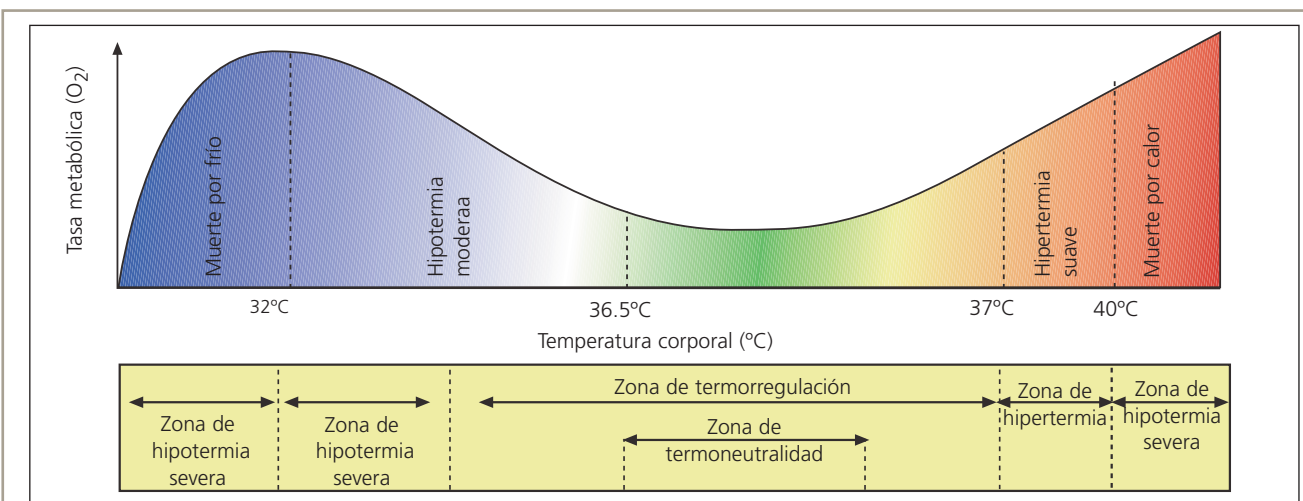


Figura 9.5. Temperatura humana y tasa metabólica. Se especifican diferentes intervalos de temperatura: de confort térmico, de termoneutralidad, de homeotermia, de hipotermia, de hipertermia, de muerte por frío y de muerte por calor.

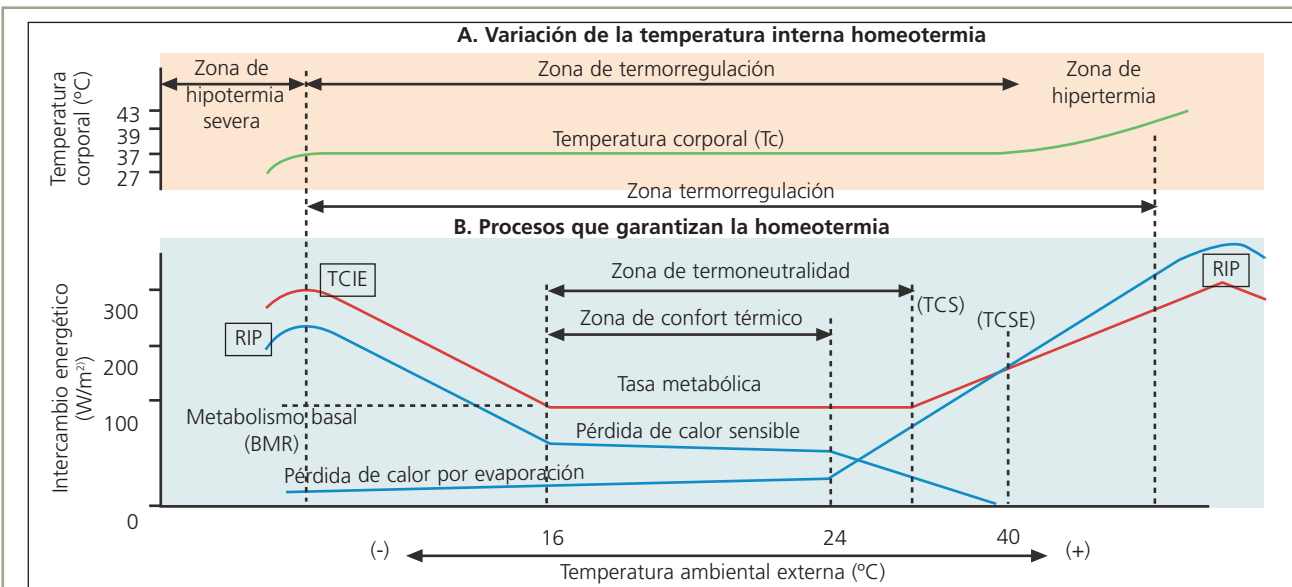


Figura 9.6. Regulación de la temperatura interna del cuerpo humano. Se diferencian varios intervalos y se especifican los procesos intervinientes en la regulación. Dentro del intervalo definido entre la temperatura crítica inferior efectiva (TCIE) y la temperatura crítica superior efectiva (TCSE), el hombre puede regular su temperatura consumiendo más alimentos y poniendo en funcionamiento mecanismos fisiológicos que regulan el intervalo de calor sensible con el exterior por conducción y por sudoración.

mal es más amplio en el caso de los poiquiloterms, éstos presentan periodos de letargo durante la noche y durante las estaciones frías debido a que disminuye su temperatura. Por último, en (C) se reconoce que el consumo de energía (tasa metabólica) y su variación es menor en los poiquiloterms que en los homeoterms, pues éstos presentan grandes variaciones en función de las condiciones del medio, siendo relativamente baja en la zona de termoneutralidad, entre la temperatura crítica inferior (TCI) y la temperatura crítica superior (TCS), aumentando el consumo de energía cuando la temperatura ambiente se sitúa por encima o por debajo de la TCS o de la TCI respectivamente debido a que se consume en los mecanismos de regulación de la temperatura.

En la figura 9.5 se describe con más detalle la variación de la tasa metabólica en función de la temperatura, apreciándose que la zona de termoneutralidad, entre los 35,7 °C y 37 °C, la tasa metabólica permanece relativamente constante, aumentando en la zona de termorregulación debido al consumo de energía de los mecanismos de regulación térmica, que al ampliarse el intervalo de temperatura ambiente disminuyen su eficacia aumentando la hipotermia o la hipertermia hasta el extremo de producir la muerte por frío o por calor.

En la figura 9.6 se muestra cómo en la zona de termoneutralidad la tasa metabólica (MR) es constante, correspondiéndole el valor del metabolismo basal (BMR), aumentando fuera de este intervalo debido a la entrada en funcionamiento de mecanismos metabólicos y fisiológicos de regulación la temperatura que permanece constante en la zona de termorregulación gracias a la intervención de diferentes mecanismos, como la regulación de la producción de calor interno y la regulación de pérdidas de calor sensible y de calor latente por evaporación. Tal estabilidad no exige el consumo de energía en la zona de termoneutralidad, lo que permite una tasa metabólica constante, mientras que fuera de este intervalo se necesita consumir energía para favorecer la disminución de la temperatura aumentando la pérdida de calor sensible y por evaporación cuando aumenta demasiado la temperatura, o favoreciendo la producción de calor interno y minimizando esas pérdidas de calor cuando hace frío.

### Regulación fisiológica

La regulación bioquímica de la temperatura se complementa con la regulación fisiológica que garantiza que dentro de la "zona de termoneutralidad térmica efectiva" (INTE), entre la temperatura crítica inferior efectiva (TCIE) y la temperatura crítica superior efectiva (TCSE), la temperatura interior permanezca estable gracias a la intervención de mecanismos fisiológicos que complementan la acción de la regulación bioquímica sobre la tasa metabólica mediante mecanismos que regulan el intercambio de calor con el exterior.

Durante el invierno, cuando la temperatura ambiente ( $T_a$ ) se sitúa por debajo de la TCI ( $T_a < TCI$ ), es posible mantener la temperatura interna gracias a la producción de calor mediante escalofríos y aumentando la ingestión de alimentos; durante el verano, cuando la temperatura ambiente supera a la temperatura crítica ( $T_a > TCS$ ), se puede reducir la temperatura interna aumentando la evaporación mediante la sudoración, el jadeo y reduciendo la ingesta de alimentos. Sin embargo, cuando la temperatura ambiente ( $T_b$ ) supera la "temperatura crítica superior efectiva" ( $T_b > TCSE$ ) o se sitúa por debajo de la "temperatura crítica inferior efectiva" ( $T_b < TCIE$ ), resulta difícil regular la temperatura, pudiendo aumentar la hipertermia o la hipotermia hasta producirse la muerte.

Los mecanismos de regulación fisiológica están regulados por el sistema hormonal y el sistema nervioso que a su vez interactúan entre sí (figura 9.7). Cuando la temperatura externa es baja, el sistema hormonal estimula la producción de calor a nivel bioquímico y reduce la pérdida de calor a nivel fisiológico estimulando la constricción de los vasos sanguíneos, que motivan que disminuya el intercambio de calor con el medio; si la temperatura ambiental es elevada, hace que disminuya la producción de calor interno a la vez que se estimula la pérdida de calor al favorecer la dilatación de los vasos sanguíneos.

Por otro lado, la temperatura interna del cuerpo no está influida solamente por la temperatura ambiente, sino que se encuentra condicionada por otros factores ambientales. Entre éstos se encuentra la radiación solar, que incide sobre la piel contribuyendo a aumentar la temperatura interna y la humedad del

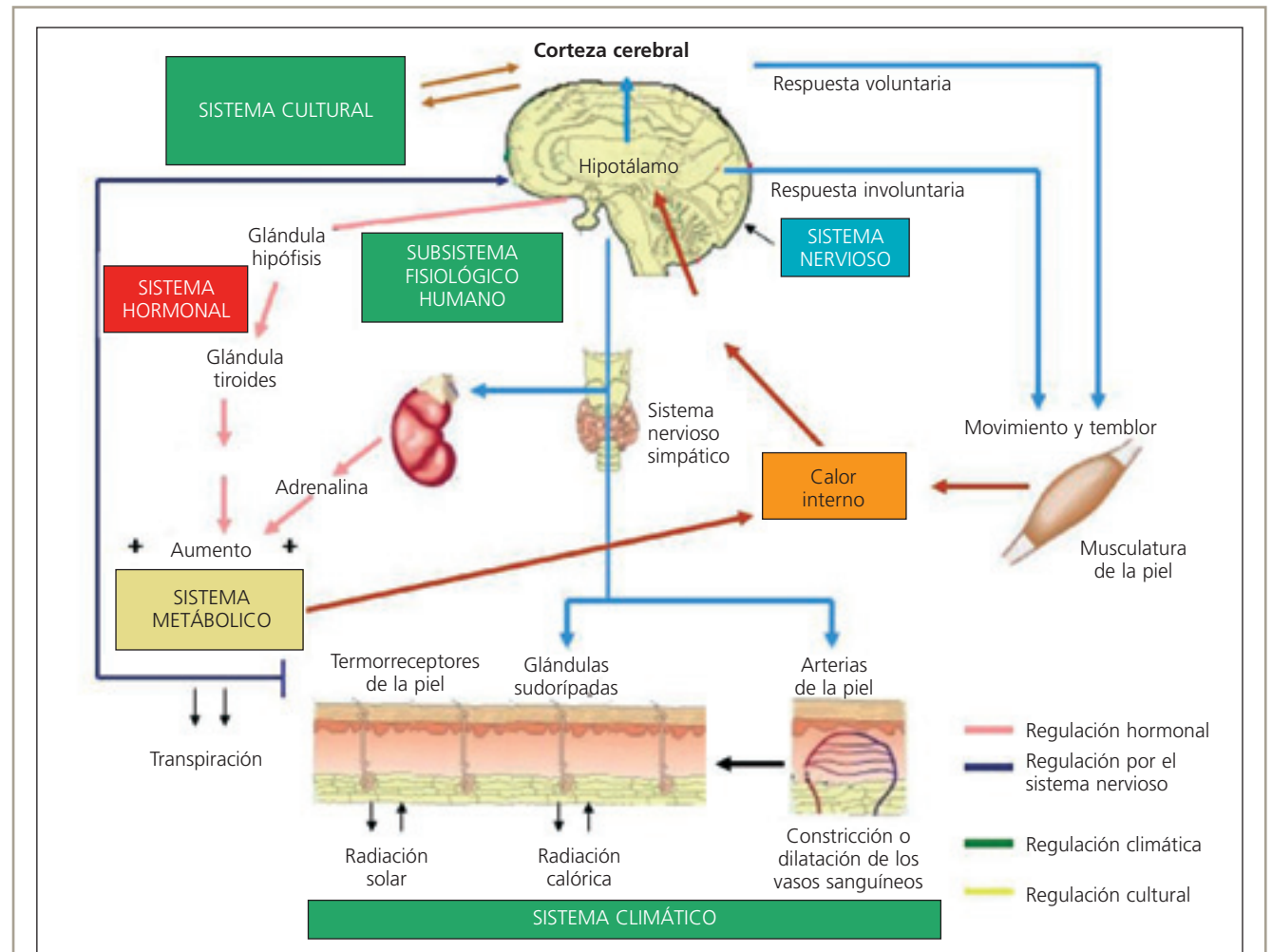


Figura 9.7. Regulación de las condiciones térmicas a nivel bioquímico y fisiológico resultado de la actuación del metabolismo como fuente de calor interno y la regulación del sistema nervioso.

aire y la velocidad del viento, que condicionan la intensidad de la evaporación (que al requerir tomar calor para producirse actúa como refrigerante sobre la piel), y la intensidad de la condensación, (que produce un efecto contrario motivado por el desprendimiento del calor latente incorporado al vapor durante la evaporación).

### Adaptación etológica

El comportamiento etológico se refiere al conjunto de respuestas en el comportamiento de los organismos que se producen debido a la variación de la percepción sensible de las condiciones del medio. Se trata de respuestas complejas que dependen de la variación del medio, de la sensibilidad de los organis-

mos y de su percepción, y del tipo de respuesta desencadenada en el comportamiento de los organismos, que se puede traducir en la construcción de refugios o en movimientos migratorios durante los periodos críticos por resultar demasiado fríos o demasiado calurosos, que tienen un importante valor adaptativo al permitirle superar condiciones adversas (un ejemplo es el caso de las migraciones que experimentan las aves y muchos mamíferos, que son desencadenados directa o indirectamente por la variación de la temperatura y de la precipitación). Tales respuestas pueden afectar en cierta medida a la especie humana, si bien en ésta se ven alterados por la intervención de mecanismos reguladores psicológicos que regulan la percepción del confort térmico y por los mecanismos de regulación cultural que contribuyen a que se hereden determinados patrones de conducta definidos culturalmente.

## EVOLUCIÓN DE LA PERCEPCIÓN PSICOLÓGICA DEL CONFORT TÉRMICO

### Factores limitantes

En la población humana, la regulación biológica de la temperatura (metabólica, fisiológica y etológica) se ve mediatizada por los componentes psicológicos y culturales que condicionan la percepción del confort térmico y por la respuesta, en cierta medida etológica pero fundamentalmente cultural, que lleva a utilizar prendas de vestir, a construir refugios y a edificar construcciones, lo que ha permitido al hombre moderno explorar y subsistir fuera de la zona tropical de origen. Así, el nicho climático del hombre moderno está fuertemente condicionado por la percepción del confort térmico, que integra elementos sensibles con otros psicológicos junto a adaptaciones culturales que lo condicionan, para cuya determinación se necesita valorar estadísticamente la percepción del confort térmico y determinar la significación de diferentes factores climáticos, psicológicos y culturales. Para esto se precisa evaluar estadísticamente mediante encuestas la valoración sobre la percepción del confort térmico y analizar después sus relaciones con diferentes factores.

### Análisis del efecto de una variable

Los factores que condicionan el confort térmico se pueden analizar en condiciones controladas de campo considerando solamente uno, dos o tres factores ambientales como la temperatura, la humedad u otros parámetros, recurriendo a valorar la percepción del confort mediante muestreos estratificados para determinar los factores ambientales más significativos. Tal valoración de los factores más significativos sirven como punto de partida para calcular índices sobre confort térmico o elaborar diagramas bioclimáticos.

En la figura 9.8 se describe la distribución de la valoración del grado de satisfacción térmica percibida por 1.300 personas en función de la temperatura ambiente, apreciándose que entre los 25 °C y los 28 °C, la mayoría de las personas consideran que la situación es agradable; por debajo de 25 °C, la mayoría valora la situación como fría, mientras que por encima de los 28 °C la mayoría valora que la situación es calurosa. Esto es atribuible a que, además de la influencia de la temperatura, intervienen otros factores como la humedad, la radiación, la velocidad del viento y la sensibilidad de cada persona, lo que al no considerarse en el análisis, condiciona la dispersión de los resultados.

### Efecto de más de una variable

Para reducir la dispersión de las estimaciones se recurre a elaborar distribuciones bidimensionales como la que recoge la figura 9.9, en la que se representa la influencia de la temperatura y de la velocidad del aire sobre el confort térmico en condiciones constantes de humedad relativa del 50%.

### Integración de múltiples variables. Índices y diagramas

En la práctica, para evaluar el nicho asociado al confort térmico se precisa tener en cuenta el efecto de más de dos factores, por ejemplo, la temperatura y la velocidad del viento, dado que otros factores como la radiación solar, el viento, la sensibilidad personal y sus interacciones resultan significativas, por lo que se recurre a integrar diversos factores que han resultado significativos al analizarse individualmente median-

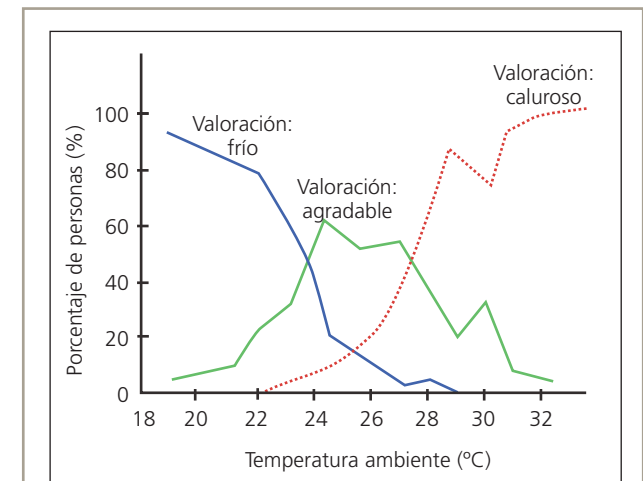


Figura 9.8. Percepción de las condiciones térmicas de 1.300 personas. Se proporciona el porcentaje de personas que valoran el ambiente como frío, agradable o caluroso.

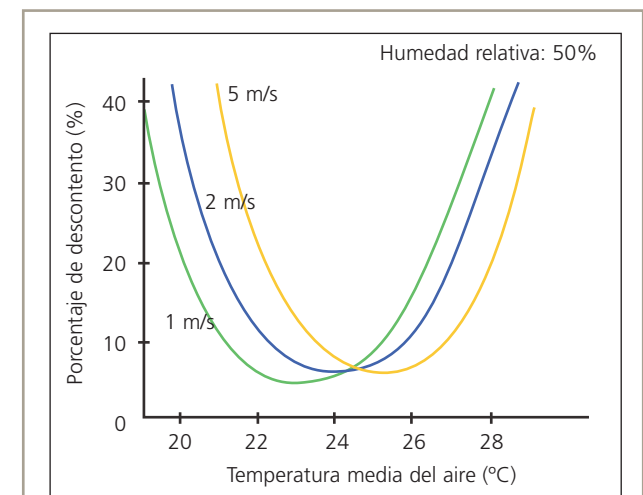


Figura 9.9. Variación del % de personas descontentas con el grado de confort térmico en función de la temperatura y de la velocidad del viento para una humedad relativa del 50%.

te la elaboración de índices de confort térmico y diagramas bioclimáticos.

Entre los índices de valoración del confort térmico aceptados de forma general, el índice PMV (Predicted Mean Vote) varía entre -3 (mucho frío) y +3 (mucho calor), correspondiendo al valor 0 las mejores condiciones de confort. También se acepta el PPD (Percentage of People Dissatisfied) o porcentaje de personas insatisfechas ya que se distribuye siguiendo una distribución de frecuencias gaussiana.

Los diagramas bioclimáticos presentan la ventaja de que permiten visualizar gráficamente la información sobre la interacción entre diversos factores ambientales y su contribución a la variación de la percepción del confort térmico. Estos diagramas bioclimáticos pueden ser generales, como los diagramas de Walter o la clasificación climática de Köppen, elaborados inicialmente para interpretar la variación de la vegetación, pero que resultan también de utilidad para reflejar condiciones bioclimáticas significativas para la arquitectura bioclimática aunque sea de una forma medianamente precisa que además presenta la ventaja de disponerse de esta información para multitud de localidades o elaborados específicamente para valorar el confort térmico, o como los diagramas de Olgay y de Givoni, que permiten obtener resultados más precisos del nicho térmico de cada población, pero presentan el problema de que no se dispone de la información climática necesaria más que para un número reducido de localidades.

La información que ofrecen los índices bioclimáticos, los diagramas bioclimáticos generales, y mejor aún, los diagramas bioclimáticos específicos para la arquitectura bioclimática y la descripción del nicho térmico ligado al confort térmico o el nicho térmico general, permite interpretar la adecuación de diferentes soluciones culturales surgidas a lo largo de la historia y en diferentes partes del mundo, así como definir criterios de gestión y de diseño en función de la disponibilidad de energía, la complejidad de proyectos y la información climática significativa disponible a diferentes escalas.

## CONFORT TÉRMICO, DESARROLLO CULTURAL Y EDIFICACIÓN

### Diferentes componentes de variación

En la actualidad, fruto de la crisis energética y ambiental derivada del aumento de población, del incremento del consumo de combustibles fósiles y de la intensificación de la explotación de los ecosistemas, se necesita mejorar la eficiencia energética de las actividades más consumidoras de energía, como la edificación. Esto ha llevado a plantearse la conveniencia de desarrollar una arquitectura bioclimática que garantice el confort térmico con eficiencia energética fruto de aprovechar los recursos naturales del clima adecuando el diseño y la gestión a la dinámica del clima. Tal dinámica además viene condicionada por la información sobre el clima que ha variado a través de la historia, cabiendo diferenciar al respecto diferentes visiones populares, la visión naturalista de la Antigüedad, la visión científico-analítica y la visión ambientalista y sistémica y, de forma paralela, variando las formas constructivas, primero con situaciones por prueba y error, y después aplicando concepciones y métodos formales para aprovechar los recursos naturales del clima, fruto de comprender con más precisión la relación entre el clima, la edificación y el confort térmico.

En general, la visión asumida sobre el clima ha condicionado el diseño de los edificios y la planificación urbana, los cuales han variado a lo largo de la historia en función de la disponibilidad de energía, de la evolución cultural de la visión sobre el clima, de la complejidad de los problemas y del desarrollo tecnológico. Así, en función de la complejidad de los problemas, ha variado el tipo de información sobre el clima considerado en el diseño bioclimático para recuperar el equilibrio entre las condiciones ambientales de la Noosfera, el nicho climático y las características adaptativas de la población humana.

Hasta la Antigüedad clásica, la relación entre clima y edificación ha estado condicionada fundamentalmente por la información derivada de la cultura tradicional y por la cultura bioclimática, formalmente desarrollada en la Antigüedad en torno a la visión naturalista de Herodoto sobre el clima y en la visión de Vitrubio sobre la interacción entre clima y edificación.

Posteriormente, durante el Renacimiento se incorpora una nueva visión científica sobre el clima que sirvió de fundamento para el desarrollo de una importante tecnología que permitía garantizar el confort térmico consumiendo energía.

Más recientemente, sin embargo, durante la segunda mitad del siglo XX y como respuesta a la crisis ambiental, se desarrolla la arquitectura bioclimática como alternativa a los planteamientos ambientales del movimiento arquitectónico moderno de principios del XX, reconociendo la conveniencia de aprovechar los recursos climáticos naturales como la luz solar y la temperatura, el viento y otros recursos naturales del clima, para mejorar la eficiencia energética. Sin embargo, ante la acumulación de problemas sucesivamente más complejos producidos durante el siglo XXI, se precisa no limitarse a utilizar una información climática multidisciplinar como la visión ambientalista, sino asumir una visión más comprensiva representada por la visión sistémica del clima que tenga en cuenta los mecanismos de regulación a diferentes niveles (bioquímico, fisiológico, etológico, psicológico y cultural) y la información significativa a diferentes escalas, sin limitarse a considerar solamente unos pocos factores para, sobre esa base, mejorar el diseño de los edificios aprovechando respecto la información climática significativa; además se precisa incorporar también una metodología científica adaptativa.

En general, las diferentes soluciones culturales añadidas a lo largo de la historia han venido interpretando la información en términos simplistas de verdad o de error, que puede resultar adecuada en el caso de los proyectos elementales, pero que resulta inadecuada en el caso de proyectos complejos en los que intervienen múltiples factores. En estos casos, la selección del diseño exige tener en cuenta múltiples factores que lo complican, si bien se puede simplificar recurriendo a clasificar los factores a considerar diferenciando una serie de componentes principales de variación relacionados con factores especialmente significativos, tal como la disponibilidad de energía, la complejidad de los proyectos, la percepción más o menos directa de la información, la comprensión de la visión asumida, incluyendo la generación de sinergias positivas o negativas, la operatividad de la metodología, el coste de las diferentes soluciones y la aceptación social de



los proyectos y del enfoque en orden a aprovechar las condiciones naturales para mejorar la eficiencia energética.

### Disponibilidad de energía y estrategias de actuación

El análisis de las soluciones culturales creadas a lo largo de la historia en diferentes ámbitos climáticos evidencia que cuando la energía no es limitante, las soluciones adaptativas se caracterizan por maximizar el uso de la energía (estrategia potente) para aumentar su capacidad de respuesta a las limitaciones del medio físico-químico y la competencia. Sin embargo, si la energía es limitante, por ser escasa o por producir efectos ambientales negativos, las soluciones adaptativas se caracterizan por maximizar la eficiencia energética (estrategia eficiente), lo cual está relacionado con el descubrimiento de nuevas fuentes de energía y con su posible agotamiento real.

Mientras la energía fue limitante, las soluciones constructivas han hecho un uso eficiente de la energía, como evidencia la arquitectura popular bioclimática y los planteamientos bioclimáticos de Vitrubio. Sin embargo, con motivo del desarrollo científico de los siglos XVI y XVII y de la revolución industrial de los siglos XVIII y XIX que posibilitó el uso de nuevas fuentes de energía como el carbón y el petróleo, se vino a asumir una estrategia consistente en el empleo intensivo de la energía para garantizar el confort térmico, desarrollándose al respecto diferentes sistemas de calefacción y de refrigeración que resultan adaptativas a corto plazo, posibilitando aumentar el tamaño de la población, ampliar su distribución y mejorar el confort térmico. Pero a medio y largo plazo se generan efectos secundarios negativos de carácter económico, geoestratégico y ambiental, derivados de la aceleración de un proceso de desarrollo que partía de que el conocimiento científico era cierto, acumulativo y que garantizaba un desarrollo tecnológico capaz de resolver todos los problemas humanos.

Sin embargo, durante las primeras décadas del siglo XX se vino a reconocer que el conocimiento científico basado en la inducción científica no garantizaba un conocimiento cierto, formulando Popper como alternativa la idea del conocimiento falsacionista, perspectiva modificada por su alumno Lakatos, que

propuso la idea de programas de trabajo. Además, Kuhn puso en evidencia que el progreso del conocimiento científico no era continuo ni acumulativo, sino que periódicamente se producían cambios revolucionarios (cambios de paradigma) caracterizados por variar los principios y la metodología que configuran la visión sobre la realidad y el conocimiento, visión que presentaba el inconveniente de introducir planteamientos irracionales en el desarrollo de la ciencia que pueden resolverse asumiendo una visión evolutiva del conocimiento científico, al estilo de la formulada por Laudan que guarda cierta analogía con la evolución biológica por variación y selección. Sin embargo, estas reflexiones epistemológicas se circunscribían a ámbitos intelectuales sin alcanzar incidencia en la dinámica social, que continuó asumiendo como ciertos los principios de la ciencia analítica, la libertad de comercio y la bondad de la tecnología.

La situación comenzaría a cambiar cuando durante la segunda mitad del siglo XX se vino a reconocer que el modelo de desarrollo tecnológico imperante, lejos de resolver todos los problemas, genera problemas ambientales de gran repercusión, reconociéndose la necesidad de introducir cambios en el modelo de desarrollo incorporando objetivos ambientales, que debían alcanzarse sin alterar la visión sobre la realidad, y realizando pequeños ajustes en el tipo de información en torno a las ciencias ambientales que suponen reajustes materiales en la ciencia convencional que se tomarían como base para la gestión ambientalista, un enfoque que permitió resolver algunos problemas más simples.

Los problemas complejos que dependían de múltiples variables, entre las cuales se producen interacciones no lineales, no sólo a escala local y micro consideradas en la ciencia convencional, sino también a escala meso y macro (global), se multiplicaban, contribuyendo a que los problemas fueran más complejos, poniendo en evidencia la necesidad de incorporar cambios en la visión de la realidad y en la metodología más profunda, no limitándose a utilizar información unidisciplinar ambientalista y a aplicar una metodología reduccionista. Así, fue preciso incorporar una manera de pensar más comprensiva representada por una visión sistémica sobre la realidad y una metodología adap-

tativa que incorporaría los avances epistemológicos desarrollados durante el siglo XX, que deberían pasar de los reducidos círculos intelectuales a ser utilizados en el diseño y gestión de proyectos especialmente complejos, pudiéndose utilizar sistémicas no convencionales en el caso de proyectos más simples.

### Complejidad de la regulación del confort térmico

El análisis de la historia evidencia que la solución al confort térmico ha estado condicionado no sólo por la disponibilidad de energía, ligado al aumento de la densidad de población, el estilo de vida, el descubrimiento de nuevas fuentes de energía y los logros de la investigación científica, sino también por la complejidad de los problemas, diferenciándose entre proyectos simples, proyectos medianamente complejos ligados a los problemas ambientales locales y problemas complejos ligados a la problemática de cambio climático.

Los proyectos simples son aquellos en los cuales se precisa tener en consideración solamente unos pocos parámetros, perceptibles de una forma directa e inmediata (temperatura, viento, humedad) que no pueden ser resueltos mediante criterios de diseño bioclimático inspirados en la arquitectura popular y en la cultura formal naturalista de Vitrubio. Esta visión ha resultado adaptativa a lo largo de la Edad Media, si bien durante el Renacimiento se han acumulado problemas complejos que han puesto en evidencia las limitaciones de la información popular y de la visión naturalista, así como el valor adaptativo de la información derivada de la revolución científica y tecnológica.

En el campo de la construcción, la revolución tecnológica inspiraría el movimiento arquitectónico moderno, caracterizado por aplicar a la edificación estrategias, métodos y técnicas similares a las que se venían utilizando en la industria (trabajo en serie, mecanización y uso de la energía del carbón y del petróleo) para garantizar el confort térmico. Esta estrategia, que resulta adaptativa a corto plazo aplicando una metodología científica reduccionista relativamente simple que prescindía de las interacciones ambientales que caracterizan a los problemas complejos, pensaba que cualquier problema tenía una solución determinista que

requería tiempo, sin que se planteara que la solución podía depender del enfoque metodológico.

Sin embargo, se toma conciencia durante las primeras décadas del siglo XXI de que la acumulación de problemas ambientales muy complejos relacionados con el cambio climático que condicionaban la subsistencia humana a largo plazo no podrían ser resueltos abordando los objetivos ambientales utilizando solamente la información climática ambientalista, la información científica de la ciencia analítica reduccionista y las tecnologías impositivas orientadas o dirigidas hacia actividades descontaminantes (fruto de la aplicación de ajustes superficiales que caracterizan a las ciencias y tecnologías ambientales), sino que para su resolución se precisaba asumir una nueva visión o paradigma sobre la realidad.

En concreto, a principios del siglo XXI, debido al incremento de la población, a la generalización de patrones de vida más consumistas y a la aceleración de la crisis energética y ambiental, los problemas se hacen más complejos debido a la necesidad de considerar la problemática del cambio climático global, lo que hace más necesario articular una nueva visión sobre el clima y la edificación que tenga en cuenta nuevos factores y sus interacciones. Esto se traduce en una visión representada por la visión sistémica alternativa a la visión reduccionista de las ciencias ambientales y una metodología que incorpore las aportaciones epistemológicas desarrolladas durante el siglo XX (figura 9.10).

### Visión sistémica de la relación entre clima y edificación

La visión sistémica sobre la relación clima-edificación exige prestar especial atención a las interacciones positivas (sinergias) y negativas entre los parámetros físico-químicos, bióticos, económicos, políticos, sociales y culturales más que a considerar relaciones deterministas que precisen de la dinámica que regula el equilibrio entre las condiciones ambientales de la Noosfera y el nicho climático humano. Este conjunto de condiciones, que posibilita la subsistencia y la calidad de vida de la población, permite corregir los desequilibrios derivados del cambio de las condiciones del medio ambiente, posibilitando la adaptación de la población y complementando el efecto de la

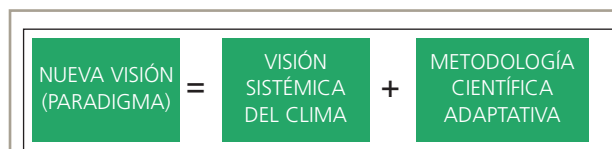


Figura 9.10. Componentes del nuevo paradigma que se precisa para la resolución de los problemas ambientales globales que se plantean en el siglo XXI.

evolución biológica, que sólo es suficiente cuando los cambios ambientales son relativamente lentos, con una evolución cultural más rápida que dicha evolución biológica, utilizando al respecto una información multidisciplinar integrada sobre el clima y una metodología adaptativa.

Cuando los cambios ambientales son relativamente lentos, la

evolución biológica permite reconstruir el equilibrio perdido como consecuencia de los cambios del medio, pero si son rápidos se puede generar el equilibrio si estos cambios posibilitan el desarrollo de nuevas especies a largo plazo.

Lo referido es aplicable a la totalidad de las especies. En el caso de la especie humana la evolución biológica se completa con la evolución cultural, que en el caso del clima ha permitido tener en cuenta la planificación y gestión del diseño, la influencia de multitud de parámetros que actúan a diferentes escalas para garantizar la subsistencia y la calidad de vida y el confort térmico de la población humana a corto plazo y la sostenibilidad a medio y largo plazo.

En la figura 9.11 se consideran diferentes factores que condicionan los proyectos, cuya información a diferentes escalas es preciso tener en cuenta, particularmente para el diseño de pro-

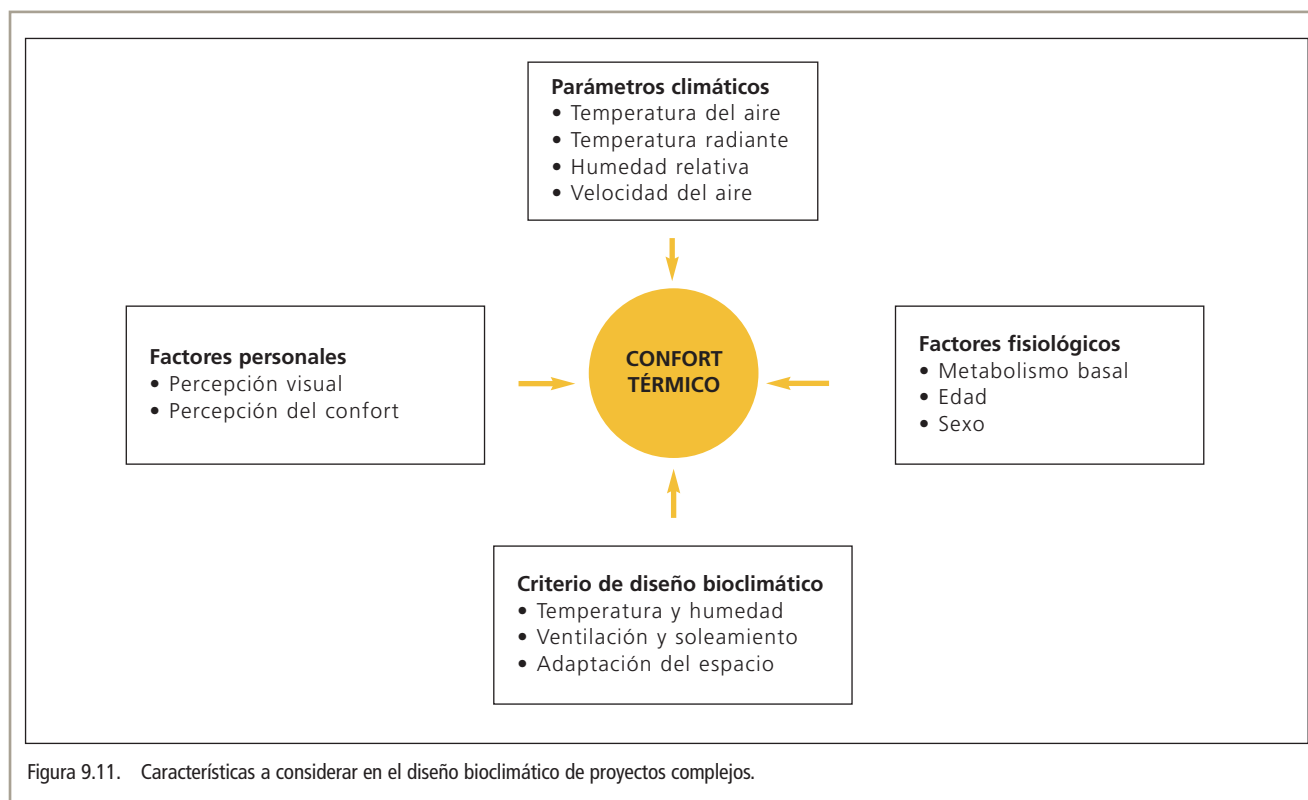


Figura 9.11. Características a considerar en el diseño bioclimático de proyectos complejos.

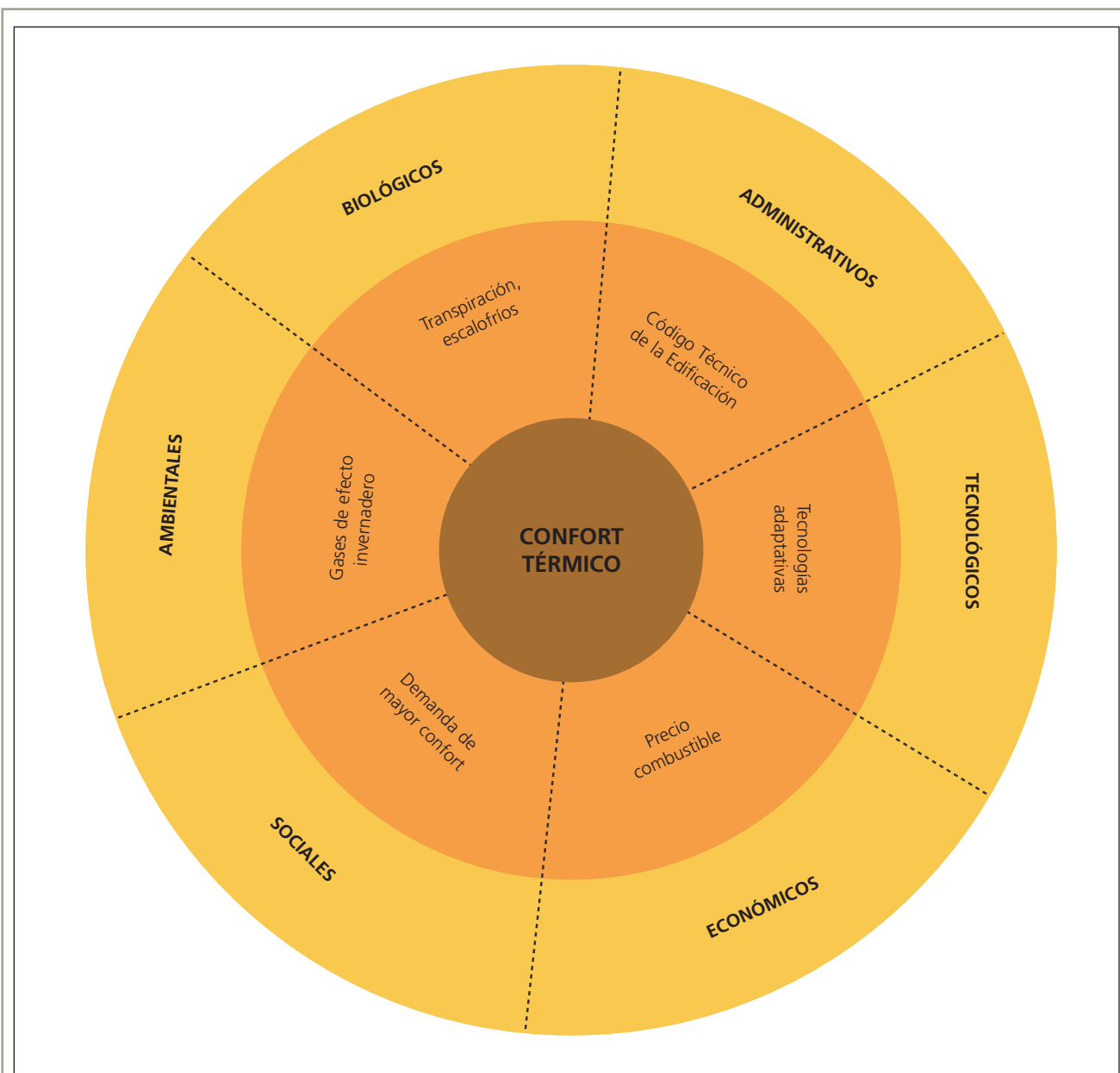


Figura 9.12. Procesos retroalimentados (círculo externo) y parámetros que intervienen en la retroalimentación (círculo interno) del confort térmico (círculo interior) que es preciso considerar en el caso de proyectos complejos.

yectos bioclimáticos complejos. Sin embargo, es más significativo tener en cuenta los mecanismos de regulación de sinergias que regulan el confort térmico, como se describe en la figura 9.12.

### Metodología científica adaptativa

Para la gestión de los problemas ambientales complejos no basta con asumir objetivos ambientales que han requerido asumir una visión sistémica del clima y de la edificación, sino que además se precisa asumir una nueva visión sobre el método científico alternativo a la concepción de la ciencia analítica. A este respecto, mientras que la visión analítica sobre la ciencia asume una concepción reduccionista según la cual la reducción permite alcanzar de forma determinista una visión cierta de la realidad que progresa homogéneamente de forma continua, la nueva visión sobre la ciencia complementaria de la visión sistémica sobre la realidad se trata de una concepción falsacionista, en la cual se combinan cambios continuos con resolución científica, y es fruto de un proceso de evolución cultural por variación y selección que se traduce en concepciones adaptativas y que guarda ciertas analogías con la teoría evolutiva puntuacionista, que asume como objetivo tanto la verdad o certeza absoluta como soluciones adaptativas que garantizan el ajuste entre la dinámica de la Noosfera, la adecuación del nicho térmico, la garantía de la calidad de vida humana a corto plazo y la subsistencia sostenible a medio y largo plazo.

Se trata de una metodología multidimensional integrada que resulta adaptativa al abordar los problemas muy complejos que dependen de múltiples variables intervinientes no sólo a escala local y a escala meso, sino también al considerar los factores que intervienen en las escalas meso y macro.

Así, se ha de considerar la información de forma operativa sin renunciar a la perspectiva sistémica de forma que se posibilite su comunicación y su utilización en la gestión y en el diseño bioclimático sostenible teniendo en cuenta las limitaciones humanas, sin proceder por un lado a tratar de generar varios proyectos bioclimáticos en función de algunos factores especialmente significativos, procediéndose después a seleccionar el proyecto que minimice el impacto ambiental, económico y social (figura 9.13).

Además, para que la metodología sea adaptativa se requiere que sea simple, recurriéndose para ello a simplificar la información jerarquizando los problemas, a clasificar las variables en función de su proximidad a la percepción humana, a clasificar los proyectos en función de su complejidad y a seleccionar la información significativa a diferentes escalas, que varía en función de la complejidad de los proyectos.

Los problemas se jerarquizan en función de la subsistencia y la calidad de vida humana, considerándose problemas subordinados a la subsistencia (como el confort térmico) en base a que contribuye a garantizar el nicho climático humano. Por otro lado, la información se clasifica diferenciando entre la información percibida directamente a escala local a través de los sentidos y la información asociada a parámetros no perceptibles directamente por su naturaleza, que requiere de instrumentos técnicos

especializados, o por no actuar a escala local y próxima, lo que requiere aplicar diferentes técnicas estadísticas que permitan recoger la información a escalas meso y a escala global. Esta clasificación está relacionada con la forma de conocer la información que varía desde aplicar el sentido común en el primer tipo, a la información cuyo análisis exige planteamientos abstractos, pasando por la información que requiere asumir una visión que integra variables a diferentes escalas como sucede en el tercer tipo de información.

En general, los problemas que dependen de parámetros locales próximos a la percepción humana pueden analizarse aplicando el sentido común y resolverse aplicando los criterios de la arquitectura popular y de la visión naturalista de Vitrubio, que se han venido utilizando durante dos o tres siglos, y que no se detallan debido a que sobre ello existe una amplia bibliografía. Sin

embargo, cuando para la resolución de ciertos problemas se precisa considerar una información asociada a parámetros que se perciben de forma inmediata y próxima, como sucede para comprender muchos procesos de la dinámica ambiental, se precisa completar la información inmediata aludida con una información más amplia y más comprensiva de carácter multidisciplinar, representada por las ciencias ambientales, y que consiste en información a escala meso y a escala macro o global, una información alejada de la percepción directa que requiere de sofisticados aparatos y métodos estadísticos para complementar la información local de la cultura popular y la información científica microclimática de la ciencia analítica, pero que resulta suficiente en el caso de los problemas ambientales locales.

Por tanto, para abordar problemas globales complejos se precisa aprender a integrar a la información a escala meso y micro la información a escala meso y macro para adecuarla a la nueva visión.

A este respecto, de poco sirve asumir un objetivo, como el objetivo ambiental, si no se asume una perspectiva o visión acorde con el tipo de problemas. No se dispone de una metodología que suministre la orientación correcta y los instrumentos necesarios para seguirla, lo cual permite considerar que aunque recientemente se han promovido campañas mediáticas, como las patrocinadas por el ex-presidente Al Gore a través del libro y del audiovisual "Una verdad incómoda", favorables a tener en cuenta el cambio climático, pese a que se han adoptado compromisos como el Protocolo de Kioto por el que los países se comprometen a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero para evitar los problemas globales, aunque los estados han formulado leyes para dar respuesta a las campañas con la promulgación del Código Técnico de la Edificación y la Normativa sobre Certificación Energética de la Edificación para aprovechar en España los recursos naturales del clima adecuando al respecto el diseño de las edificaciones, que se unen a los planteamientos de las Agendas 21 por lo que diferentes ciudades se comprometen a impulsar planes de actuación dirigidos a lograr la sostenibilidad, realizándose incluso grandes inversiones, de miles de millones de euros, para la compra de los derechos de emisión y para

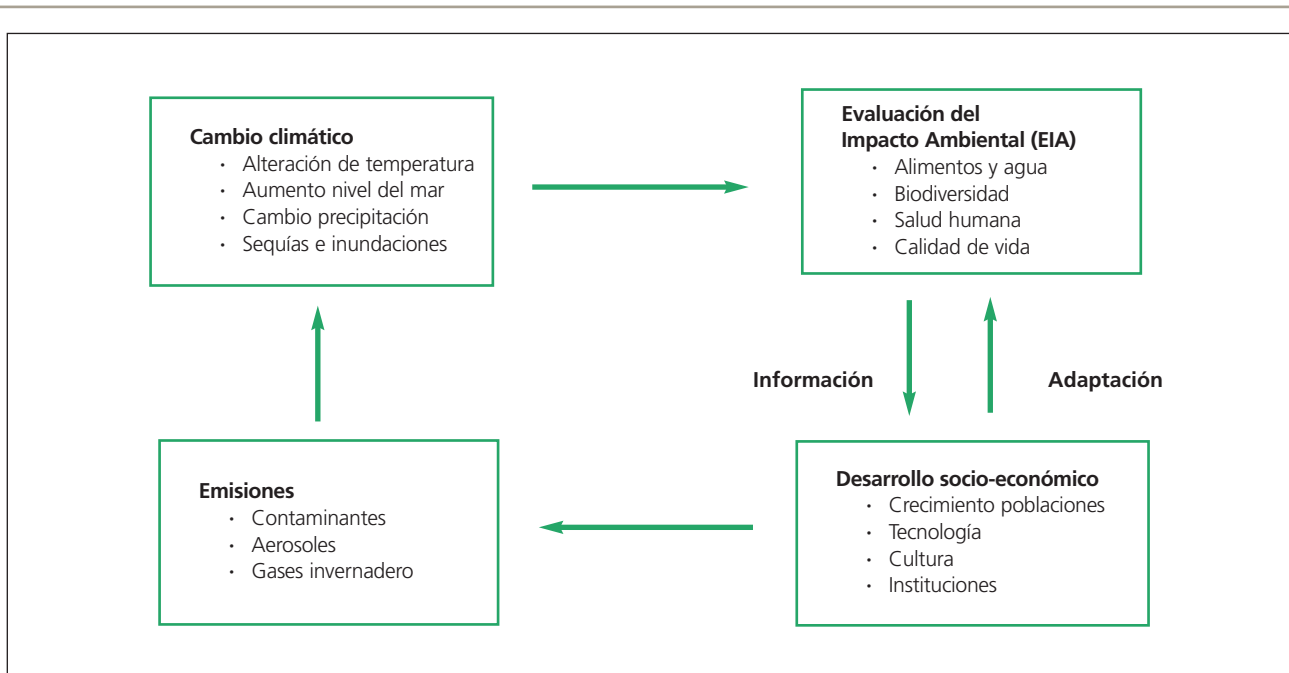


Figura 9.13. Proceso de ajuste adaptativo orientado a la selección de soluciones adaptativas a corto plazo y sostenibles a largo plazo.

adecuar los edificios a las nuevas normativas, su éxito no está garantizado. La razón es que para la gestión de los problemas complejos se precisa asumir una metodología científica acorde con la complejidad de los problemas relacionados con la eficiencia energética y la calidad ambiental en la edificación.

### Dificultad para el cambio de visión

Se puede decir en relación a la gestión de los proyectos complejos que el principal problema no es asumir la necesidad de abordar su resolución, ni tampoco las dificultades técnicas, ni el coste de los proyectos como podría pensarse, sino que el principal factor limitante es la dificultad para comunicar y asumir un cambio de visión sobre la realidad y de la metodología científica que proporciona una visión más comprensiva que sirva de base para generar soluciones adaptativas.

El problema es que el cambio de visión encuentra gran resistencia por parte de las instituciones educativas, comenzando por la universidad que se ha mantenido gracias a su capacidad para difundir su visión respecto a otras alternativas, de forma que a la dificultad derivada del cambio de visión más compleja implica modificar la forma de pensar que se ha venido asumiendo, que además se considera definitiva. Ahora se necesita asumir que tal certeza no está garantizada, como se evidencia en el caso de la problemática ambiental y la ecoinnovación y de la responsabilidad social ambiental, asumiéndose una visión alternativa a la visión transmitida por la Universidad. Resulta complejo, cuando no imposible, que la articulación del cambio se produzca en el seno de la propia Universidad, que no fue capaz de evolucionar de la visión escolástica a la visión científica desarrollada en el siglo XVI, exigiendo la intervención de instituciones alternativas como las Academias, gracias a cuya participación fue posible la resolución científica y la revolución industrial de los siglos XVIII y XIX, no siendo hasta este siglo cuando incorpora la Universidad la visión científica propiciando un importante proceso de desarrollo económico y social durante el XX hasta el extremo de considerar que representaba la solución definitiva y cierta a todos los problemas humanos. La cuestión es que ahora se plantea un nuevo cambio al que la Universidad meramente se resiste y que

posiblemente no se produzca hasta asumirse socialmente la necesidad de la nueva visión, manteniéndose entonces la resistencia a cambiar de perspectiva, por lo que se plantea la conveniencia de comunicar los aspectos más específicos de la nueva visión representados por la información a escala macro o global.

### INFORMACIÓN SIGNIFICATIVA A ESCALAS MESO Y MACRO

#### Información a escala meso

Para ilustrar la información a escala meso se recurre a considerar la "isla de calor" que se produce en las ciudades junto al incremento de la contaminación que como consecuencia del consumo de carbón y petróleo en la industria, el transporte y la emisión de partículas en las calderas de cale-

facción, producen efectos directos e indirectos sobre la salud de los ciudadanos, reduciendo la radiación incidente en el centro de las ciudades. Ello lleva a pensar que la temperatura en el centro pudiera ser menor que en el entorno, pero sucede lo contrario, pues en las áreas urbanizadas la temperatura es mayor que en la periferia (figura 9.14) debido a que intervienen otros factores que favorecen el aumento la temperatura como la disminución del albedo que motiva que la radiación solar reflejada se reduzca, aumentando la proporción de la radiación solar que se transforma en radiación de onda larga en las ciudades, lo que conlleva un aumento de la temperatura.

De los dos tipos de efectos ligados al desarrollo de las ciudades se ha prestado especial atención a la contaminación,

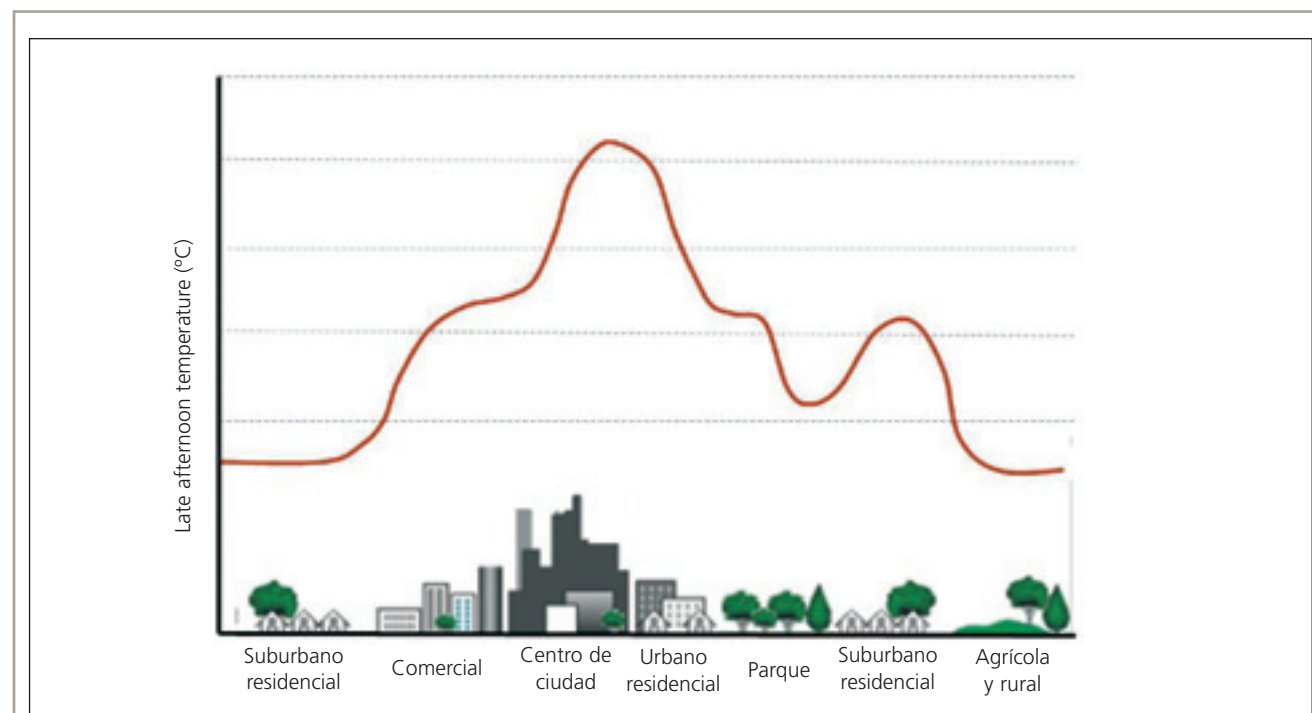


Figura 9.14. Efecto de "isla de calor". Se aprecia la relación positiva entre la temperatura en una ciudad y densidad de la edificación.

debido a su incidencia a corto plazo sobre la salud de la población, adoptándose costosas medidas para reducir sus actividades contaminantes, impidiendo la instalación de industrias contaminantes y reduciendo el tráfico. Medidas como la sustitución de las calderas de carbón por calderas menos contaminantes en el caso de Londres resulta más difícil de abordar en ciudades menos ricas como la de México, evidenciándose que para estas cuestiones el principal problema es el económico.

Esto contrasta con lo referido en el caso de problemas globales más complejos en los cuales el factor más limitante no es el económico ni el técnico sino la resistencia y dificultad para el cambio. Esta diferencia se debe posiblemente a que la contaminación y sus efectos es algo que podemos percibir a corto y a medio plazo, mientras que los cambios globales exigen asumir una perspectiva más abstracta que resulta más compleja de asumir. Sin embargo, afortunadamente un tipo de problemas globales como el asociado al cambio climático es algo que puede ser comprensible para la población, lo mismo que el efecto invernadero, lo cual representa una oportunidad para transmitir la visión sistémica por una vía alternativa a las universidades, que difícilmente pueden liderar el cambio, pues la historia muestra como las instituciones educativas dominantes se han opuesto a los cambios de paradigma manteniendo contra viento y marea su identidad. Cabe esperar que la solución venga de las iniciativas y planteamientos de nuevas instituciones, como el Instituto de California, que promueven nuevos enfoques a los problemas, o de las iniciativas de instituciones, incluso de ciudades, que exploren nuevas perspectivas para promover la urbanización verde y la arquitectura bioclimática para garantizar un desarrollo sostenible que, de tener éxito, podrían alimentar un proceso de cambio en la línea de asumir una perspectiva sistémica, fruto de un proceso de cambio y selección análoga, y regular la evolución biológica, que incorpora ahora también factores económicos, sociales y culturales.

Lo indicado no quita que existan otras dificultades, como el interés de que se realicen grandes obras públicas alegando al respecto que ello genera puestos de trabajo, cuando en el fondo subyace el interés para obtener los beneficios ligados a la recalifi-

ficación de terrenos y los beneficios para los ayuntamientos derivados de los permisos de edificación, que dejan escaso margen para una gestión ambiental rigurosa, lo cual es fuente de dificultad, aunque el principal problema no es éste, sino la resistencia social al cambio intelectual.

Sin embargo, existe cierto margen para la esperanza ligado al impacto social que ha tenido la idea de cambio climático y la necesidad de asumir una perspectiva global a la hora de planificar y gestionar problemas locales concretos como el urbano y la edificación, así como el que estas actuaciones tengan importantes efectos globales. La problemática del cambio climático representa una oportunidad para comunicar los planteamientos de la nueva visión como parece traslucir del desarrollo de diferenciar proyectos en ciudades alemanas, americanas (Chicago y Nueva York) y chinas (Shangai) dirigidos a la formación de diseñadores que plantean nuevas alternativas en torno a un urbanismo verde y a una arquitectura bioclimática que sume una perspectiva sistémica sobre las condiciones del clima, la evolución de la biodiversidad, la dinámica ecológica y el desarrollo humano sostenible, lo que supone incorporar perspectivas a escala meso y macro que completan la información a escala local (que suministra la cultura general y de la visión naturalista) e interviene a escala micro (que proporciona la visión científica reduccionista).

### Información global. El cambio climático

La información a escala macro se puede ilustrar a través del análisis de procesos del cambio climático global, caracterizado porque depende de las interacciones entre parámetros naturales y culturales a diferentes escalas, analizados no sólo por su significación sino también porque va a permitir la aproximación a una realidad más general y difícil de comunicar como es el cambio global, del cual el cambio climático representa un caso particular que tiene gran importancia en la planificación de las ciudades y en la arquitectura bioclimática.

La influencia de los gases sobre el cambio climático global es algo que viene actuando desde el origen de la Tierra hace 4.500 millones de años. Sin embargo se ha considerado un fenómeno significativo a finales del siglo XX debido a que no

se disponía de información climática a escala global, a la consideración de que la acción humana era poco significativa a esta escala y a la asunción de que el hombre no podía gestionar el clima a escala global. Peor ahora, la toma de conciencia sobre el cambio climático global ha contribuido a que se comience a asumir una visión multidisciplinar y sistémica de la realidad que considere las interacciones entre parámetros y factores climáticos, geomorfológicos, biológicos, sociales, económicos e intelectuales a diferentes escalas; y que se adopte una metodología evolutiva que permita detectar los factores y los mecanismos de regulación más significativos a través de aproximaciones que actúen de forma interactiva a diferentes niveles, escalas y perspectivas, más o menos inmediatas, para facilitar su comunicación y su uso en la gestión y en el diseño bioclimático.

En general, en relación con el cambio climático se asume que desde el siglo XIX ha venido aumentando la temperatura global, y se interpreta que este aumento ha estado causado por el consumo de combustible fósil, fruto de la actividad humana. Este consumo ha sido el causante del aumento de gases de efecto invernadero lo que a su vez, ha motivado que aumente la temperatura.

En la figura 9.15 se esquematiza la relación que existe desde finales del siglo XIX entre el desarrollo urbano y el aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera. El aumento es tan rápido que no cabe esperar que su regulación se produzca naturalmente, necesiéndose tomar medidas culturales (políticas, técnicas, administrativas y culturales) para resolverlo. A este respecto se han asumido diferentes medidas técnicas y de gestión, pero debido a la complejidad de los problemas se precisa adoptar medidas relacionadas con la visión sobre la realidad como ha sucedido en otros momentos de la historia incorporando un nuevo paradigma, visión de la realidad y forma de pensar que permita diseñar y gestionar proyectos especialmente complejos.

En la figura 9.16 se analiza con más detalle la relación entre el desarrollo económico asociado a la revolución industrial de los siglos XIX y XX, el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, el aumento de la temperatura media del Planeta y el

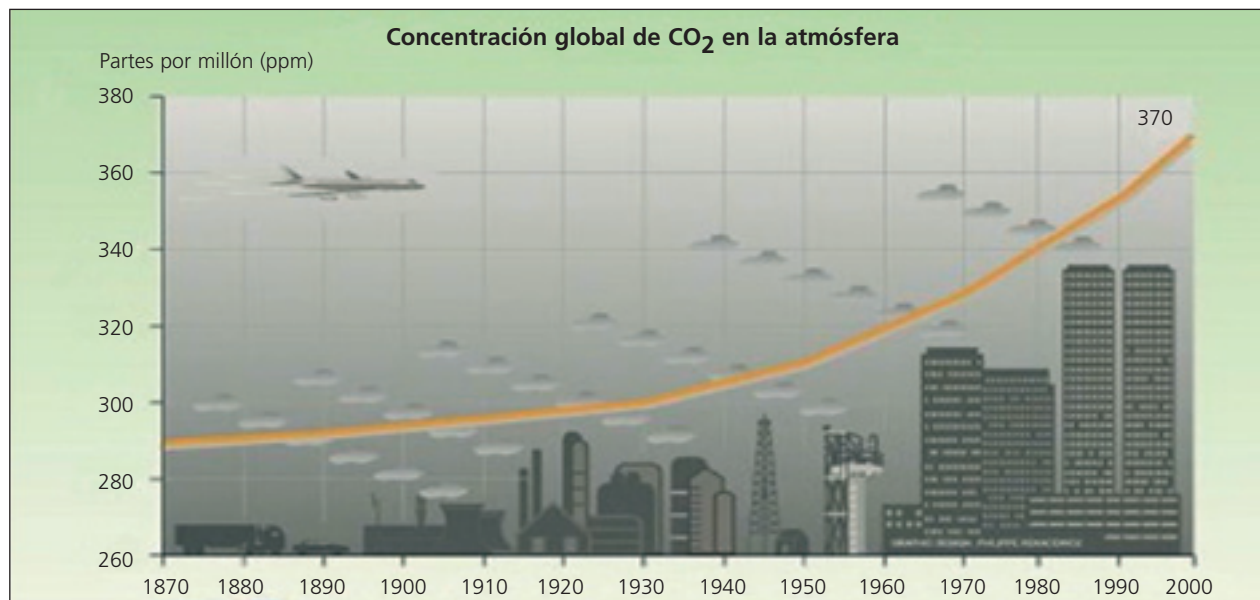


Figura 9.15. Relación entre desarrollo urbano y desarrollo urbano y aumento global de CO2 en la atmósfera desde 1870 hasta la actualidad.



Figura 9.16. Relación entre la temperatura de la Tierra (en rojo) y el aumento de la concentración de CO2 (en azul). Aunque parte de las oscilaciones de la temperatura se pueden explicar en función de la actividad solar y de los movimientos de la Tierra alrededor del Sol, el aumento espectacular de la temperatura durante los últimos 150 años sólo se explica teniendo en cuenta el efecto del aumento de los gases de efecto invernadero.

incremento de los gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, etc.) resultado de la actividad.

La variación de la temperatura y la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire se ha estimado a partir de la información que ofrecen los observatorios meteorológicos más antiguos, el crecimiento de los árboles, la composición del aire encerrado en burbujas contenidas en capas de hielo de diferente edad, la variación de la distancia del sol a la Tierra, la inclinación del eje de giro de la Tierra respecto al plano de la eclíptica, la actividad solar y el efecto de la actividad humana sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En la figura 9.17 se expone esquemáticamente la influencia de los gases de efecto invernadero sobre el aumento de la temperatura. A tal respecto se aprecia que los gases de efecto invernadero permiten que la radiación solar atraviese la atmósfera y llegue a la superficie terrestre, pero reflejan hacia la superficie terrestre la radiación térmica que emite la Tierra, lo que contribuye a que aumente la temperatura en la superficie terrestre y que se incremente la radiación de onda larga emitida hacia el espacio, proceso que se puede repetir hasta que se iguale la radiación incidente y la radiación de onda larga emitida por la superficie terrestre, con el resultado del aumento de la temperatura media que de otra forma alcanzaría una temperatura menor.

Del total de la radiación de onda larga que emite la superficie terrestre sólo el 30% fluye hacia el espacio, siendo reflejada el 70% hacia la superficie terrestre.

### Cambio climático y cambio global

Para evaluar la trascendencia del fenómeno de cambio climático y la adopción de diferentes medidas se exige valorar, por un lado, la trascendencia de los efectos derivados de la variación de la temperatura y de la precipitación, y por otro, la importancia cultural derivada de su contribución a la definición de la visión sistémica sobre la realidad que permanece encerrada en círculos intelectuales pero que ahora comienza a considerarse en círculos profesionales relacionados con el diseño, la planificación y la gestión ambiental.

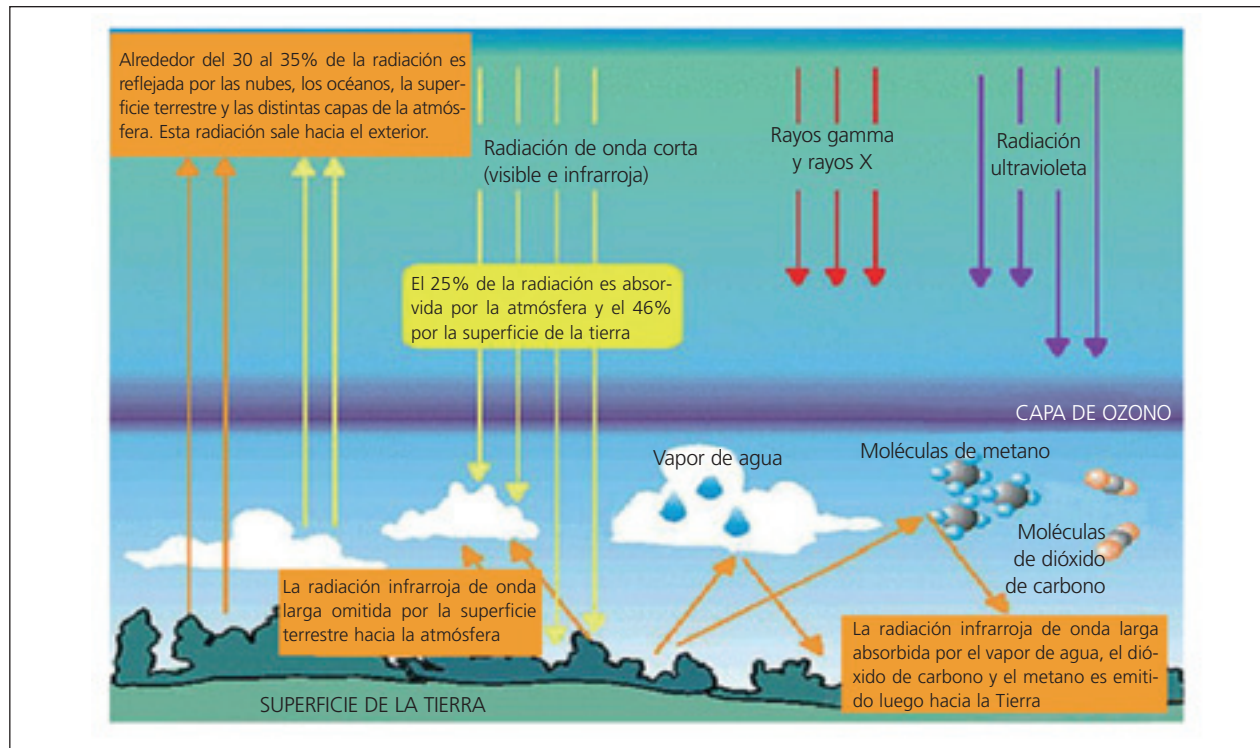


Figura 9.17. Influencia de la capa de ozono y de la capa de gases invernadero sobre el balance de radiación de la Tierra, lo cual explica que la temperatura media de la Tierra sea mayor que sin la intervención de estos gases.

Respecto a la trascendencia del aumento de los gases de efecto invernadero sobre el aumento de la temperatura conviene precisar que se trata de un efecto anormal y que gracias a él la temperatura media de la Tierra es de unos 15 °C en lugar de los -18 °C que se tendrían de no producirse el efecto invernadero. Esto posibilita el desarrollo de la vida en la Tierra, que de otra forma habría sido mucho más difícil. El problema se presenta porque el aumento de temperatura es demasiado rápido para que los organismos y el hombre puedan adaptarse a la nueva

situación produciéndose desajustes entre el desarrollo socioeconómico, la biodiversidad y las condiciones del medio que representen negativamente sobre el desarrollo económico, sobre el desarrollo social y sobre las condiciones ambientales.

Los referidos efectos del cambio de la temperatura resultan ser trascendentes desde la perspectiva socioeconómica, pero posiblemente menos que la variación de otros factores como el contenido de materia orgánica en el suelo, que condiciona la disponibilidad hídrica de la población diez veces más que la dismi-

nución de la precipitación. Sin embargo, en los medios de comunicación se concede mayor importancia a la variación de los parámetros climáticos debido a que la variación de la temperatura y de la precipitación es percibida más directamente que otras dimensiones de cambio climático global.

Lo referido no supone revisar la importancia del cambio climático, sino reconocer que otros parámetros pueden ser más críticos que el cambio climático a la hora de explicar las probabilidades de subsistir, representando el cambio climático una oportunidad para alcanzar una visión más adaptativa de la realidad y de la metodología científica que sirva de base al desarrollo sostenible.

Se puede decir al respecto que el éxito mediático del cambio climático representa "una oportunidad" para cambiar la aceptación de la visión sistémica de la Noosfera, en la que se preste especial atención al conocimiento y a la regulación de los mecanismos que regulan la variación de la velocidad del cambio ambiental y la capacidad de ajuste ligado a la evolución biológica y la evolución cultural, en orden a restablecer el equilibrio antes de que la situación sea irreversible.

#### Información sistémica para Canarias a diferentes escalas

Para garantizar que la regulación cultural permita establecer el nicho humano se precisa que la información sistémica resulte operativa para su aplicación práctica al diseño y a la gestión en cada área concreta, especificando al respecto los parámetros más significativos que actúan a diferentes escalas en cada zona concreta.

En el caso de Canarias hasta hace unas décadas resultaba suficiente la información derivada de la arquitectura popular, algunos principios derivados de la visión naturalista del clima y la información que se obtiene del análisis de proyectos concretos. Sin embargo, durante el aumento de la población y del nivel de vida, se han alterado los mecanismos reguladores siendo preciso ampliar esta información sobre el clima utilizado en la planificación, el diseño y la gestión para que se adopten las condiciones bioclimáticas específicas de Canarias.



INFORMACIÓN RELACIONADA CON EL CONFORT TÉRMICO			
ESCALA	REPRESENTACIÓN	TIPO DE INFORMACIÓN	ILUSTRACIÓN
GLOBAL ZONAL (variación zonal)	TIERRA 	Balace de radiación global.	
REGIONAL (variación regional)	R. MEDITERRÁNEA 	Radiación potencial.	
REGIONAL (variación subregional)	CANARIAS 	Tipo de clima. Diagrama de Walter.	
INSULAR (variación intrainsular: sectorial altitudinal y local)	TENERIFE 	Topografía y nubosidad.	
LOCAL		Balace de radiación y vientos locales.	
MICROCLIMÁTICA NATURAL (variación intralocal)		Nicho térmico natural.	
MICROCLIMA DE LA EDIFICACIÓN	VIVIENDA 	Nicho térmico.	

Figura 9.18. Variables climáticas significativas a diferentes escalas adaptadas a las condiciones específicas de Canarias. Esta información sirve de base para la arquitectura bioclimática de proyectos complejos en Canarias aprovechando al respecto la información sobre la dinámica del clima para garantizar el confort térmico con eficiencia garantizando la energía en el uso de los combustibles fósiles.