

HABITAR EL DESIERTO:

*Transición Energética y Transformación
del Proyecto Habitacional Colectivo
en la Ecología del Desierto de Atacama,
Chile.*



Tesis Doctoral presentada por:
Arq. José Guerra Ramírez

Director de Tesis:
Dr. Arq. Rafael Serra Florensa

Barcelona, 2003

Dedicado a la memoria de mis padres, Enrique e Isabel.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera podido llevarse a cabo sin el apoyo de muchas personas e instituciones, sean para ellas nuestros más profundos reconocimientos.

A las siguientes PERSONAS

- *A la gente de la población Salar del Carmen, por abrir sus puertas y recibirme en sus casas.*
- *Al Arquitecto Mario Pérez de Arce, por mostrarme su obra y compartir sus recuerdos.*
- *Al profesor Dr. Arq. Rafael Serra y todo su equipo, por su cobijo, orientaciones y enseñanzas entregadas en estos años de estudio en Barcelona.*
- *Al profesor Yair Etzion, por su atenta disposición a distancia.*
- *Al profesor Ricardo Zuleta, por su confianza y sugerencias.*
- *Al Dr. Arq. Rolando Meneses, por señalar el camino.*
- *Al Arq. Juan Román, por sus indicaciones desde Talca.*
- *Al Ing. Roberto Quiroz, por sus acertados comentarios y sincera amistad.*
- *Al profesor Domingo Gómez, por su gran humanidad y recibimiento.*
- *A la memoria de la profesora Arq. Ángela Schweitzer, y sus inestimables consejos.*

Y a las siguientes INSTITUCIONES:

- *Dirección General de Docencia de la Universidad Católica del Norte, Antofagasta – Chile.*
- *Facultad de Arquitectura, Construcción e Ingeniería Civil de la Universidad Católica del Norte.*
- *Departamento de Física de la Universidad Católica del Norte.*
- *Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI).*
- *Instituto Catalán de Cooperación Iberoamericana (ICCI).*
- *Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona de la Universidad Politécnica de Cataluña.*
- *Unidad de Arquitectura del Desierto de la Universidad Ben Gurion del Negev, Instituto Blaustein de Investigación en el Desierto, Israel.*

a todos, muchas gracias.

ÍNDICE

PARTE INTRODUCTORIA

0. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

INTRODUCCIÓN GENERAL 11

0.1 FUNDAMENTACIÓN

0.1.1 Antecedentes teóricos y observados 14

- (a) El proceso de transición energética en la arquitectura
- (b) Transición y transformación de la arquitectura
- (c) La singularidad de los procesos de transición y su ámbito

0.1.2 Justificación e importancia 20

- (a) Justificación desde el ámbito arquitectónico
- (b) Justificación desde el ámbito del desarrollo sostenible
- (c) Justificación desde el ámbito de la docencia universitaria

0.1.3 Definición del problema de investigación 25

0.1.4 Tipología y características de la investigación 27

0.1.5 Metodología de la investigación 28

0.2 VARIABLES DE ESTUDIO 30

0.2.1 Sistema de hipótesis 31

0.2.1.1 Hipótesis general Nº 1

0.2.1.2 Hipótesis general Nº 2

0.2.1.3 Hipótesis específicas

0.3 OBJETIVOS 32

0.3.1 Objetivos generales

0.3.2 Objetivos específicos

PRIMERA PARTE:		
1	TRANSICIÓN, ENERGÍA Y ARQUITECTURA	
	INTRODUCCIÓN	34
1.1	LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA, definiciones	37
1.1.1	Características de la transición hacia las energías renovables	39
	(a) La viabilidad	
	(b) La emergencia	
	(c) La complejidad	
	(d) La magnitud	
	(e) La transformación	
1.2.	ARQUITECTURA Y TRANSICIÓN ENERGÉTICA	43
	(a) Variables actuantes en el cambio y su influencia en la arquitectura	
	(b) Proyecciones de la transición energética en la arquitectura	
1.3	LOS PROCESOS DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y LA ARQUITECTURA:	46
1.3.1.	La primera transición energética	47
1.3.2	La segunda transición energética	50
1.3.3	La tercera transición energética	52
	(a) Primera fase: <i>de inmovilización, shock y minimización (1972 - 1987)</i>	
	(b) Segunda fase: <i>de dubitación e inmersión (1987 - 1992)</i>	
	(c) Tercera fase: <i>de exploración y reflexión (1992 - 2003)</i>	
	COMENTARIOS	62
1.4	LA TRANSICIÓN Y TRANSFORMACIÓN	63
	(a) La obra de Matta-Clark	
	(b) La obra de Robert Smithson	
	(c) La obra de Frank Gehry	
1.4.1	La transformación de la vivienda, un acto de habitar	69
	COMENTARIOS	71
1.4.2	Las condicionantes de la transformación del proyecto de arquitectura	72
	(a) El cambio de las formas de vida	
	(b) El impacto energético y ambiental de los edificios	
	(c) Las nuevas exigencias al edificio integradas al diseño del proyecto	
1.4.3	La transformación del lenguaje arquitectónico	76
1.4.4	Los nuevos enfoques del diseño arquitectónico	78
	(a) El enfoque energético	
	(b) El enfoque ecológico	
	(c) El enfoque sostenible	
	COMENTARIOS	87
1.5.	LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y EL DESARROLLO DE UNA CULTURA SOLAR EN EL DESIERTO DE ATACAMA	88
1.5.1.	Panorama energético chileno	92
1.5.2.	Energías renovables en Chile	95
1.5.3	Escenario de la transición energética en Chile	98
	(a) Escenario 1 / antes de 1973	
	(b) Escenario 2 / entre 1973 y 1990	
	(c) Escenario 3 / desde 1990 a 2002	
1.6	RESUMEN Y CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO	105
	BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO	

SEGUNDA PARTE:

2	ECOLOGÍA Y DESIERTO	
	INTRODUCCIÓN	115
2.1.	LA DIMENSIÓN DE LOS DESIERTOS	118
2.2	EL DESIERTO Y EL DESARROLLO ENERGÉTICO	123
2.3	LA ENERGÍA SOLAR, la energía de los desiertos	128
2.4	EL AGUA EN EL DESIERTO	132
	COMENTARIOS	135
2.5	LOS SISTEMAS ECOLÓGICOS DESÉRTICOS	137
2.6	FISONOMÍA Y CATEGORIZACIÓN DE LOS DESIERTOS	140
2.6.1	Categorización climática de los desiertos	141
	(a) Factores climáticos	
	(a.1) Estabilidad o influencia atmosférica (desiertos subtropicales)	
	(a.2) Continentalidad (desiertos interiores)	
	(a.3) Topografía (desiertos orográficos)	
	(a.4) Corrientes oceánicas (desiertos costeros)	
	(b) Elementos climáticos	
	(b.1) Temperatura	
	(b.2) Humedad	
	(b.3) Precipitaciones	
2.6.2	Categorización geológica	147
2.6.3	Categorización morfológica estructural	148
2.6.4	Categorización lito-edáfica	150
2.7	ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN DE LOS SISTEMAS BIOLÓGICOS AL MEDIO AMBIENTE DESÉRTICO	152
2.7.1	Adaptaciones del cuerpo humano al clima desértico	152
2.7.2	Adaptaciones de las plantas al clima desértico	155
2.7.3	Adaptaciones de los animales al clima desértico	159
	(a) Adaptaciones fisiológicas de los animales para el calor	
	(b) Adaptabilidad y conducta de los animales	
2.7.4	Adaptaciones de pájaros y aves al clima desértico	162
2.8	EL DESIERTO DE ATACAMA, el desierto absoluto	164
2.8.1	Fisonomía del desierto de Atacama	166
	(a) Las condiciones de aridez por latitud	
	(b) Las condiciones de aridez por altitud	
2.8.2	Ecología del desierto de Atacama	170
	(a) El piso ecológico de la Cordillera de la Costa	
	(b) El piso ecológico de la Depresión Central o de la Pampa Atacameña	
	(c) El piso ecológico de la Pre-cordillera y Salar de Atacama	
	(d) El piso ecológico de la Cordillera de los Andes – Altiplano	
2.9	RESUMEN Y CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO	175
	BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO	

TERCERA PARTE:

3	ARQUITECTURA Y DESIERTO	
	INTRODUCCION	182
3.1	EL DESIERTO, ESPACIO DE MODERNIDAD	184
	(a) El desierto en la arquitectura de Louis Kahn	
	(b) El desierto en la arquitectura de Frank Lloyds Wright	
	(c) El desierto en la arquitectura de Hassan Fathy	
	(d) El desierto en la arquitectura de Le Corbusier	
3.2	UNA ARQUITECTURA PARA HABITAR EL DESIERTO	194
	(a) Habitar el desierto, es vivir la exterioridad	
	(b) El diseño sensible al clima	
	(c) El funcionamiento pasivo de la arquitectura del desierto	
	COMENTARIOS	199
3.3	ESTRATEGIAS DE DISEÑO ENERGÉTICO EN LA ARQUITECTURA DEL DESIERTO: Aspectos térmicos y lumínicos	200
3.3.1	La forma urbana	200
	(a1) Urbanidad compacta	
	(a2) Distancia entre edificios	
	(a3) Calles angostas	
	(a4) Habitar la exterioridad: patios – espacios al aire libre	
3.3.2	La forma del edificio	202
	(b1) La envolvente / sombras exteriores	
	(b2) El edificio compacto	
	(b3) Muro: resistencia al medio ambiente	
	(b4) Aislamiento y ventilación de tejados / doble cubierta	
	(b5) Ventilación cruzada / acondicionamiento natural del aire	
	(b6) Tamaño de las ventanas	
	(b7) Control temperatura del aire interior / técnica pasiva de refrigeración	
3.3.3	La orientación	209
	(c1) La orientación de los edificios	
	(c2) El soleamiento / exposición a la radiación solar	
	(c3) La orientación y formas de las ventanas	
3.3.4	Los Dispositivos de Sombra	211
	(d1) Las protecciones de las ventanas	
	(d2) Los dispositivos de oscurecimiento externo	
	(d3) Los dispositivos de oscurecimiento interno	
	(d4) La protección solar de las fachadas a través de la vegetación	
3.3.5	El Color	214
	(e1) El color de la envolvente	
3.4	LA ARQUITECTURA DEL DESIERTO DE ATACAMA	216
	(a) La arquitectura de la pre-cordillera y del altiplano	
	(b) La arquitectura de la planicie intermedia	
	(c) La arquitectura del desierto litoral	
3.5	RESUMEN Y CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO	225
	BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO	

CUARTA PARTE:

4	CASO DE ESTUDIO	
	ANÁLISIS DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN AMBIENTAL POR ACCIÓN DEL USUARIO, DE LAS VIVIENDAS DEL CONJUNTO HABITACIONAL "SALAR DEL CARMEN", EN ANTOFAGASTA – CHILE	
	INTRODUCCIÓN	234
4.1	PRESENTACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	237
4.1.1	El conjunto habitacional "Salar del Carmen"	237
4.1.2	Programa arquitectónico y proyecto	239
4.1.3	Usuarios y habitantes	240
4.1.4	Emplazamiento y terreno	241
4.1.5	Contexto urbano y proyecto	242
4.1.6	Espacios públicos: Proyecto y transformación	246
4.1.6.1	Cualidades ambientales del espacio público en la población Salar del Carmen	249
	(a) La forma urbana de agrupación: lo compacto	
	(b) La dimensión de las calles: norte – sur	
	(c) Las calles: cerro – mar	
	(d) El color y luz de los espacios públicos	
	(e) La incorporación de la vegetación en el espacio público	
	(f) Deterioro de las calles y penetración del automóvil	
	(g) Ejemplo de barrio solar, en el desierto del Negev, Israel	
4.2	ANÁLISIS DE CASOS	255
4.2.1	La vivienda original: Aspectos del lenguaje formal	255
4.2.2	Muestra y análisis de 30 viviendas de la población Salar del Carmen	261
4.3	CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE LAS VIVIENDAS DE LA POBLACIÓN SALAR DEL CARMEN	292
4.3.1	La transformación: Un proceso no controlado	292
	(a) Transformación de las fachadas de las viviendas tipo "D"	
	(b) Transformación de las fachadas de las viviendas tipo "B"	
	(c) Transformación de las fachadas de las viviendas tipo "A"	
4.3.2	La transformación: Un proceso acumulativo	298
4.3.3	La transformación: Un proceso de interacción dinámica	300
	(a) Sistema de agrupación lineal de viviendas tipo "A/B"	
	(b) Sistema de agrupación lineal de viviendas tipo "A/A"	
	(c) Sistema de agrupación lineal de viviendas tipo "D/A"	
4.4	INDICADORES Y VARIABLES ASOCIADAS A LA TRANSFORMACIÓN DE LAS VIVIENDAS: causas y efectos	305
4.4.1	Variable ambiental: ¿por qué se transforma?	306
4.4.2	Variable funcional: ¿para qué se transforma?	308
4.4.3	Variable formal: ¿qué se transforma?	308
4.4.4	Variable constructiva: ¿cómo se transforma?	310
4.4.5	Variable temporal: ¿cuándo se transforma?	312

4.5	SÍNTESIS COMPARATIVA DE LA TRANSFORMACIÓN: LA VIVIENDA ORIGINAL CON RELACIÓN A LA VIVIENDA TRANSFORMADA	315
4.5.1	(a) Forma edificada / confort climático – nivel térmico (a-1) Incidencia de la radiación solar directa COMENTARIOS	317 331
4.5.1	(b) Forma edificada / confort visual – nivel Lumínico (b-1) El patio como fuente de luz natural (b-2) Niveles de iluminancia por recintos COMENTARIOS	334 341
4.5.2	(a) La envolvente / confort climático – nivel térmico: (a-1) Sombras exteriores y aislamiento de la radiación solar	344
4.5.2	(b) La envolvente / confort visual – nivel lumínico (b-2) Tamaño de las aberturas COMENTARIOS	346 350
4.5.3	(a) La orientación / confort climático – nivel térmico (a-1) Relación de espacios, posición de las aberturas	351
4.5.3	(b) La orientación / confort visual – nivel lumínico (b-1) La acción intrusiva de la luz vertical, fragmentación y graduación de la luminosidad en los ambientes desérticos.	353
4.5.4	(a) El color / confort climático – nivel térmico (a-1) El blanco y la incidencia del color exterior (a-2) La referencia y preferencia por el color blanco (a-3) El color del desierto, identidad ambiental en la población Salar del Carmen (carta de colores) (a-4) Los efectos térmicos del color en los edificios	355
4.5.4	(b) El color / confort visual – nivel lumínico (b-1) El contraste entre colores cálidos y fríos (b-2) El ambiente y las condiciones visuales confortables COMENTARIOS	368 373
4.6	RESUMEN Y CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO	375
	BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO	

QUINTA PARTE:

5.	CONCLUSIONES FINALES	384
5.1	CONCLUSIONES GENERALES	385
	(a) Transición energética en el ámbito de los desiertos (b) Ecología del desierto y la arquitectura (c) Transformaciones de las viviendas en función del clima desértico	
5.2	CONCLUSIONES ESPECÍFICAS	390

SEXTA PARTE:

6.	PROPUESTA: ESTRATEGIAS DE DISEÑO ENERGÉTICO PARA EL CLIMA DESÉRTICO COSTERO DE ANTOFAGASTA	394
6.1	DE LAS INVARIANTES	396
	(a) Habitar la exterioridad (b) La construcción de la sombra (c) Habitar la penumbra	
6.2	DE LAS ESTRATEGIAS DE DISEÑO ENERGÉTICO EN EL PISO ECOLÓGICO COSTERO DEL DESIERTO DE ATACAMA	400

DOCUMENTOS ANEXOS

A.1	ANEXO N°1	405
1	DEFINICIÓN DE ZONAS ÁRIDAS E ÍNDICE DE ARIDEZ	405
	(a) Índice de aridez de KÖPPEN	
	(b) Índice de aridez de THORTHWAITE	
2	CLASIFICACIÓN DE ZONAS ÁRIDAS	408
	(a) Clasificación de MEIGS	
	(b) Clasificación de la UNESCO	
	(c) Clasificación de la UNEP	
A.2	ANEXO N° 2	412
1	TRANSCRIPCIÓN DE LA ENTREVISTA DEL ARQ. MARIO PÉREZ DE ARCE.	
A.3	ANEXO N°3	422
	MARCO METODOLÓGICO	
1	TRABAJO DE CAMPO	
2	DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	
2.1	TÉCNICAS CUANTITATIVAS	
	(a) Paseo con instrumentos (Walkabout)	
	(b) Los registros con data logger: Pautas de uso eficiente	
2.2	TÉCNICAS CUALITATIVAS	425
	(a) Catastro gráfico de las viviendas de la Población Salar del Carmen	
3	FICHA CATASTRO: PARÁMETROS DE CONFORT AMBIENTAL Y CONDICIÓN FÍSICA DE LA VIVIENDA EN ZONAS ÁRIDAS	426
4	ENCUESTA: CONFORT AMBIENTAL Y CONSUMO DE ENERGÍA RESIDENCIAL EN ZONAS ÁRIDAS	451
5	MATRIZ DE OBSERVACIÓN DIRECTA: ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO, LUMÍNICO Y ACÚSTICO	476

PARTE INTRODUCTORIA

0. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

INTRODUCCIÓN GENERAL

Mirando a Latinoamérica, el economista chileno Manfred Max-Neff¹, plantea que el mejor desarrollo al que podemos aspirar será: *“el desarrollo de países y culturas capaces de ser coherentes consigo mismas.”* Porque aplicar soluciones convencionales, sólo sería una forma de escapar de la crisis ambiental.

Para lograr este objetivo de coherencia se requiere de la articulación orgánica de los seres humanos con el binomio naturaleza–tecnología y de los procesos de globalización, con los comportamientos locales. En la actualidad, en términos conceptuales este proceso se plantea como de *transición hacia el desarrollo sostenible*. En este sentido, tanto el análisis teórico como las propuestas estratégicas de la presente investigación se centran en cómo se está desarrollando el proceso de transición y cómo debiera desarrollarse este cambio. Se observa, que los problemas ambientales son singulares a los ámbitos de actuación, reconocemos en los territorios desérticos o ambientes áridos, las inmejorables condiciones para que este proceso de transición de base energética sea realmente factible y exitoso.

En nuestro caso como arquitectos, mirando a Antofagasta², nos encontramos con una ciudad enclavada en la aridez –emplazada en la franja costera del Desierto de Atacama– **que no construye su destino de manera consecuente con su entorno desértico**. Puesto que, tanto la forma urbana como el hecho arquitectónico se desarrollan con criterios de ciudad jardín, manifiestamente incoherentes con su realidad ambiental y ecológica.

¹ [MAX-NEFF, 1994] *“Desarrollo a escala humana”*. Ed. Icaria. Barcelona.

² Antofagasta: Ciudad del norte de Chile, ubicada en la costa del desierto de Atacama, es el lugar de estudio, trabajo y residencia del doctorando.