



# Universidad Veracruzana

## ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN E IMPACTO AMBIENTAL

### **Análisis comparativo de estructuras arrecifales como medida de mitigación ambiental**

Tesis

Que para obtener el grado

**Especialista en Gestión e Impacto Ambiental**

Presenta:

Ing. Oscar Córdoba Rivera

Director

M. C. Francisco Javier Martos Fernández

Co-Director

Dra. Maribel Ortiz Domínguez

Julio 2014



Universidad Veracruzana

**UNIVERSIDAD VERACRUZANA**  
Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias  
**Especialización en Gestión e Impacto Ambiental**



Universidad Veracruzana

Revisión del trabajo de intervención del alumno: Oscar Córdoba Rivera

Nombre	Fecha	Dictamen	Firma
<u>Ascensión Ciprián Bonacho</u>	<u>4/7/2014</u>	<u>Aprobado.</u>	<u>[Firma]</u>
<u>José Manuel Marín Corra</u>	<u>4/7/2014</u>	<u>Aprobado.</u>	<u>[Firma]</u>
<u>Consuelo Domínguez Barradas</u>	<u>7/7/14</u>	<u>Aprobado</u>	<u>[Firma]</u>

En la presente revisión se acordó que el trabajo de intervención denominado "Análisis comparativo de estructuras arrecifales como medida de mitigación ambiental" que presenta el sustentante para obtener el Título de Especialista, está terminado por lo que puede proceder a su inmediata impresión.

La presente Tesina titulada: "**Análisis comparativo de estructuras arrecifales como medida de mitigación ambiental**" realizada por el C. Oscar Córdoba Rivera, bajo la dirección del M. C. Francisco Javier Martos Fernández y asesoría del consejo particular de la Dra. Maribel Ortiz Domínguez, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

**ESPECIALISTA EN GESTIÓN E IMPACTO AMBIENTAL**



---

M.C. FRANCISCO JAVIER MARTOS FERNÁNDEZ

DIRECTOR



---

DRA. MARIBEL ORTIZ DOMÍNGUEZ

CODIRECTOR

Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver. julio 2014

## **DEDICATORIAS:**

A Dios.

Por dejarme llegar a este momento de mi vida, y darme la fortaleza necesaria para salir de momentos muy difíciles, principalmente porque nunca me soltaste de tu mano y caminaste siempre junto a mí. Gracias Dios por tu infinita misericordia.

A mis padres.

Les dedico el presente trabajo de titulación por su apoyo incondicional y esfuerzo continuo.

## **AGRADECIMIENTOS:**

A mis padres.

Gracias por la oportunidad y apoyo brindado para formarme como profesionista y lograr alcanzar una de mis metas en la vida.

A mis catedráticos.

Deseo manifestar mi agradecimiento a quienes intervinieron en mi formación profesional con sus conocimientos impartidos ya que estos serán aplicados con toda ética profesional durante el desarrollo de mi vida laboral.

## Índice

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	4
III. JUSTIFICACIÓN .....	7
IV. OBJETIVOS .....	8
V. METODOLOGÍA .....	9
VI. RESULTADOS.....	10
I.- Clasificación de los arrecifes artificiales y beneficios que proporcionan.....	10
1.1.- Beneficios de la creación de arrecifes artificiales .....	10
1.2.- Aspectos socioeconómicos de los arrecifes artificiales.....	13
1.3.- Valoración económica de los arrecifes artificiales .....	14
1.4.- Aspectos legales.....	15
1.5.- Criterios para el diseño de estructuras de un arrecife artificial. ....	16
1.6.- Tipo de módulos viables para la construcción de un arrecife artificial.....	18
Estructuras específicamente diseñadas y construidas para servir como arrecifes artificiales.....	18
Estructuras no diseñadas o construidas originalmente para servir como arrecife artificial .....	32
1.7.- Clasificación de los arrecifes artificiales según su uso o finalidad .....	34
1.7.1 Arrecifes artificiales destinados a actuar sobre el medio físico .....	35
1.7.2.- Arrecifes artificiales destinados a actuar sobre la biota .....	38
1.7.3.- Arrecifes artificiales destinados a otros usos .....	44
1.8.- Clasificación de los arrecifes en función de los materiales utilizados en su construcción. ....	46
II.- Consideraciones previas al establecimiento de un arrecife artificial .....	47
III. Descripción de las obras.....	53
3.1.- Proceso constructivo.....	55
3.1.1.- Construcción de los elementos.....	56
3.1.2. Transporte marítimo .....	57
3.1.3. Instalación y fondeo.....	58
3.2.- Seguimiento biológico.....	60
IV.- Criterio de valoración de materiales para crear arrecifes artificiales .....	61
4.1.- Los materiales.....	61
4.2.- Consideración en el diseño de un arrecife artificial .....	61

4.3.- Consideración de costos .....	62
4.4.- Criterios de selección de materiales .....	72
VII.- DISCUSIÓN .....	74
VIII.- CONCLUSIONES .....	77
IX. APLICACIONES PRÁCTICAS.....	78
VII.- BIBLIOGRAFÍA.....	79

## **Resumen**

### **Análisis comparativo de estructuras arrecifales como medida de mitigación ambiental**

El presente trabajo tiene como finalidad coadyuvar en la implementación de arrecifes artificiales como medida de mitigación ambiental. Se realizó una investigación documental de los diferentes procedimientos desarrollados con materiales de oportunidad, de concreto, electrodeposición, entre otros. Se compararon los diferentes métodos para la construcción del arrecife valorando los materiales utilizados, costos de la obra, tiempo de ejecución, tiempo de vida del arrecife, daños al ambiente y diseños entre otros parámetros. Para poder determinar cuál material es más viable para ejecutar un proyecto de este tipo, se tuvieron presentes el monto económico de su construcción y un estudio ambiental de la zona donde se pretende realizar el proyecto. Con la información obtenida de diversas fuentes documentales y generando una valoración de los materiales utilizados para considerarlo a la hora de implementar un proyecto de restauración de arrecifes artificiales.

**Palabras clave:** arrecifes artificiales, estructuras.

## I. INTRODUCCIÓN

Entre los ecosistemas más importantes de la naturaleza se encuentran los arrecifes de coral, debido a la gran diversidad biológica que albergan y su alta productividad. Los arrecifes de coral son las estructuras más grandes y espectaculares hechas por organismos vivientes (García y Nava, 2007). Los arrecifes de coral; son económicamente importantes como fuentes de recursos alimenticios y productos medicinales, además de proteger las frágiles costas de los daños ocasionados por las tormentas y la erosión. También son un recurso de valor cultural y de gran belleza natural, además proveen ingresos económicos importantes en el rubro turístico (Tunnell *et al.*, 2010)

La acción del hombre, desafortunadamente, ha generado graves alteraciones al medio ambiente, mismas que en muchos casos no pueden ser subsanadas a corto plazo, o en el peor de los escenarios se vuelve imposible reconstruir esta alteración. Las principales causas que ponen en riesgo a los arrecifes son: La sobre explotación y la pesca deportiva, extracción de coral, turismo y desarrollo industrial en las zonas costeras, calentamiento global, la contaminación de los mares y océanos, la contaminación y la erosión de la tierra (Pérez del Toro Rivera, 2001).

La pérdida de arrecifes tiene un impacto significativo sobre la sociedad mundial, principalmente porque hasta la fecha no han sido contemplados como uno de los principales sumideros de CO<sup>2</sup>, lo cual revertiría el calentamiento global y todos los efectos nocivos que más preocupa a los gobiernos de todos los países, también se ve afectado, particularmente en lo que se refiere a la pesca y al turismo (Bird y Molinelli, 2001). Esto podría involucrar impactos sociales importantes relacionados con la pérdida del empleo, de ingresos y potencialmente, de una fuente importante de alimentos para muchas comunidades pesqueras artesanales. El mundo ha perdido aproximadamente un 20 % de la totalidad de los arrecifes. Se presume que el 24% de los arrecifes a nivel mundial se encuentra bajo un riesgo inminente



de desaparecer debido a la presión humana y otro 26% se encuentra en riesgo de colapsar a más largo plazo (Tunnell *et al.*, 2010).

Los arrecifes se deterioran por las actividades humanas en las costas, tal es el caso de las obras de construcción en puertos (dragados, muelles, marinas, diques, astilleros, la industrialización de los puertos), además actividades como (la pesca, deportes náuticos, el buceo, las lanchas, el turismo, aunado a factores como la contaminación, los desastres naturales; etc.). Todo esto daña los arrecifes que se encuentran bajo gran presión y hasta amenazados por el uso y sobreexplotación. La capacidad de la naturaleza para reponer los daños en los arrecifes naturales es muy lenta, por lo que cada día se populariza más el empleo de arrecifes hechos por el hombre empleando una gran variedad de elementos como barcos, barcazas, aviones, autos y hasta llantas. Sin embargo, existe una creciente demanda por arrecifes artificiales que cumplan ciertos requerimientos mínimos: estables, duraderos, seguros, estéticos, reversibles, económicos, monitoreables, no contaminantes (MARENTER, 2014).

Desde el punto de vista práctico y ecológico, se debe atender tanto al diseño como a la fabricación de los elementos que integran un arrecife artificial. Un buen diseño de los elementos para un arrecife artificial incluye que la forma sea tal que facilite con rapidez el establecimiento de la vida animal en su superficie y entorno. De este modo, al cabo de un tiempo, los elementos recién colocados deben integrarse al medio, mimetizándose al cubrirse con algas, corales y ser rodeados de peces y vida marina en general (MARENTER, 2014). El Dr. Hickling, un experto en cultivos marinos, define a esta práctica como un procedimiento para aumentar la producción por encima del nivel normal, empleando cualquier método (Puerta, 1982).

A nivel internacional, los primeros estudios y experiencias relativos al desarrollo de arrecifes artificiales de coral se han desarrollado en países como Japón y Estados Unidos, siendo actualmente estos países los más avanzados en su diseño y construcción (Gayo, 1998). En México, la creación de arrecifes artificiales y sus procesos constructivos es un tema novedoso para la ingeniería civil, que

contribuye con sus conocimientos y con la colaboración de un equipo interdisciplinario, participa en el restablecimiento, si no total, al menos parcial, del equilibrio natural de nuestros fondos marinos.

En México se han empezado a implementar las técnicas de creación de arrecifes artificiales en diferentes puntos de la república para restaurar la pesca en zonas donde ésta se ha visto afectada. También para ayudar a minimizar los daños causados a los arrecifes naturales por sobre explotación turística, pesca y actividades deportivas náuticas, desarrollando infraestructuras para servicios de buceo y ecoturismo. De este modo, los arrecifes artificiales se convierten en una nueva fuente de atracción a buceadores, por la gran biodiversidad de especies que se pueden establecer en ellos. En los últimos años, en el Caribe Mexicano se ha implementado el proceso constructivo de arrecifes artificiales con estructuras tipo *Reef Balls* entre otros diseños, generando exitosamente su restauración (MARENTER, 2014).

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo es recopilar la información disponible a nivel internacional para la construcción de un arrecife artificial, estableciendo un sistema de evaluación multicriterio que permita a los posibles usuarios reconocer los materiales óptimos que se utilizarían de acuerdo al uso que se le daría al ecosistema generado.

## II. ANTECEDENTES

El expediente más temprano que se tiene de ellos se remonta al tiempo de los griegos antiguos. Escritos de la época hablan sobre la construcción de arrecifes en la desembocadura del río Tigris. Por su parte, los persas también los utilizaron para bloquear el paso a los piratas hace más de dos mil años. De cualquier forma, la primera literatura científica sobre el uso de arrecifes artificiales, data del siglo XVIII, y habla de pesquerías en Asia y más tarde, en América del Norte, asociadas al uso de objetos sumergidos (Lewis y Mckee, 1989).

Estas estructuras han sido ampliamente utilizadas en EEUU durante los últimos 100 años, aunque su utilidad como técnica para incrementar la disponibilidad de recursos ha sido reconocida recientemente por los gestores pesqueros del país. En la era Kansei de Japón (1789-1801), los pescadores que habitaban las islas Awaji, al sur de Kobe, solían pescar en barcos hundidos, obteniendo numerosas capturas (Stone *et al.* 1991, Seaman y Sprague, 1991). Cuando los barcos se deterioraban y la pesca escaseaba, tras siete u ocho años de actividad, los pescadores hundían grandes construcciones de madera con lastre a unos 40 (m) de profundidad; tres meses después, ya podían de nuevo pescar en la zona. Tras la segunda guerra mundial, a partir de 1954, se promovió la pesca en alta mar y la construcción de arrecifes artificiales, legislándose al respecto y subvencionándose este tipo de construcciones (Seaman y Sprague, 1991).

En 1975, también en Japón, se inicia un gran programa de construcción de campos de arrecifes artificiales para la pesca, que supone un gran desarrollo en las técnicas de diseño, construcción, instalación y funcionamiento de las estructuras artificiales sumergidas con fines pesqueros. Actualmente, este país ha alcanzado el mayor desarrollo en las técnicas de diseño y construcción de arrecifes artificiales, realizando importantes y costosos proyectos según el tipo de pesquería que quiere favorecer (Del Rio, 2014). El concepto Arrecife Artificial se atribuye a Japón y se data en el siglo XVIII, aunque desde mucho antes el hombre ha modificado las condiciones naturales del medio marino en su provecho. En la

práctica comenzó a utilizarse en EEUU en 1830. Su utilización se ha extendido a múltiples zonas del mundo, haciendo referencia a la utilización que se les da a tales estructuras (Latitudscuba, 2012)

Los pescadores han aplicado con acierto el viejo conocimiento de que los peces se reúnen en los sitios donde hay un barco hundido o cualquier tipo de estructura sumergida que ofrezca cobijo sólido. Así, vienen utilizando desde hace varias generaciones diversos materiales ramas, raíces, troncos de mangle colocado, gomas viejas de vehículos rodantes e incluso las propias carrocerías- para hacer que los peces se concentren a fin de poderlos capturar con sus redes. A estas estructuras ellos les llaman pesqueros (Silva-Lee, 1984).

Los primeros arrecifes artificiales realizados mediante el hundimiento o fondeo de elementos constituidos por diversos materiales; las experiencias japonesas utilizaban elementos formados por estructuras de madera, elementos plásticos, hormigones, aceros y, posteriormente, fibras de vidrio, etc., dirigidas, específicamente, al aumento de la producción pesquera y a la protección de alevines (Gayo, 1998).

A partir de los años sesenta, se generalizaron las experiencias de construcción de arrecifes en todo el mundo (EEUU, Japón, Australia y los Países Mediterráneos), con diferentes planteamientos y objetivos (para la pesca profesional y deportiva, el buceo recreativo, etc.) y materiales de deshecho o de oportunidad: chatarra, escombros, piedras y materiales de canteras, coches, cubiertas de neumáticos, cascos de barcos etc. Pero es a partir de 1980 cuando las investigaciones se centran en conocer la efectividad de los arrecifes artificiales y la dinámica de las comunidades asentadas, con objeto de construir este tipo de estructuras no sólo para la pesca, sino además, para la recuperación de la vida marina de algunas zonas afectadas por centrales térmicas o vertidos de otra clase (Del Rio, 2014).

De acuerdo a lo anterior surgen las siguientes definiciones:

La European Artificial Reef Research Network (EARRN), fundada mediante el programa AIR de la Comisión Europea, entiende por Arrecife Artificial, cualquier estructura deliberadamente sumergida sobre el sustrato (fondo), para imitar algunas características de los arrecifes naturales (Ministerio de Medio Ambiente de España, 2008).

Guidelines for the Management of Artificial Reefs in the Great Barrier Reef Marine Park of Australia define un arrecife artificial como cualquier estructura construida o colocada sobre el fondo marino, en la columna de agua o flotando sobre su superficie con el propósito de crear una nueva atracción para los buceadores o concentrar o atraer plantas o animales con fines pesqueros (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008)

Entendiendo entonces que un arrecife artificial es una estructura sumergida colocada de manera deliberada sobre el suelo marino para imitar alguna de las características de un arrecife natural. Pueden estar expuestos parcialmente en algunos estados de marea (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008), sus funciones pueden ser proteger, regenerar, concentrar y/o incrementar las poblaciones de los recursos marinos vivos. Además, pueden regenerar los hábitats acuáticos, fomentar la investigación, las oportunidades de recreo y el uso de la zona con fines educativos (Convenio de Londres y Protocolo/PNUMA, 1972).

Con base en lo anterior, se sugiere que el valor del capital natural de los arrecifes coralinos se determina mediante la estimación los cambios en los servicios que proporciona y de cómo afectaran el bienestar humano debido al valor de estos ecosistemas, pues estas actividades brindan ingresos muy necesarios y alimento a las comunidades costeras porque tienen un potencial enorme para afectar o destruir los arrecifes. Es esencial entender las amenazas para la salud de estos ecosistemas, de tal suerte que puedan formularse estrategias factibles de gestión para la conservación y uso sustentable (Costanza *et al.* 1997).

### III. JUSTIFICACIÓN

El último reporte sobre el estado de los arrecifes a nivel mundial indica que los arrecifes de coral son, probablemente, el ecosistema marino en mayor peligro de extinción del planeta. Para tratar de minimizar un poco el impacto negativo producido a los arrecifes naturales se ha implementado un sistema de arrecifes artificiales. El objetivo final de todo proyecto de un arrecife artificial es mejorar las condiciones ecológicas, económicas y sociales de una zona litoral. El impacto positivo sobre la vida marina y la costa se mide en términos económicos y sociales para poder planear con objetividad nuevos proyectos.

En muchas partes del mundo se han instalado arrecifes de concreto con diferentes objetivos, como el de regenerar la fauna y flora marina y con ello alentar la productividad pesquera de ciertas zonas, o bien, con la intención de luchar contra la erosión que se produce en las playas que son muy abiertas. Ya que los arrecifes artificiales permiten el refugio de especies, la reproducción marina, pero también que se detone la actividad turística (González, 2009)

Por esta razón se propone recopilar la información sobre la utilización de arrecifes artificiales para que se intente colonizar este tipo de sustratos y así poder medir la factibilidad de empleo de este tipo de alternativas en la costa. En este trabajo se da a conocer un análisis de los diferentes métodos de restauración empleados en arrecifes artificiales, con estructuras de materiales utilizados en diferentes técnicas constructivas y materiales de oportunidad, considerando los procesos estructurales y de diseño de las mismas, los costos de fabricación, planeación, organización, ejecución, control y seguimiento biológico que se han realizado en México.

## **IV. OBJETIVOS**

### **General**

Analizar los diferentes métodos para restauración de fondos coralinos y seleccionar el que genere beneficios integrales.

### **Particulares**

- Identificar y describir los principales métodos de restauración de fondos.
- Realizar un análisis de las ventajas y desventajas de los métodos de restauración.
- Proponer el método de restauración que genere el mejor beneficio.

## V. METODOLOGÍA

Se realizó la recopilación bibliográfica, hemerográfica, en medios electrónicos sobre los diferentes métodos de restauración de los arrecifes artificiales en el área de costas. Se identificaron las estructuras con las que se pueden elaborar los diversos tipos de arrecifes artificiales de acuerdo a los materiales con que se fabrican.

Durante el análisis de la información se tomaron en cuenta los diferentes métodos de restauración existentes con arrecifes artificiales en el área de costas, considerando los diferentes procesos constructivos que pueden utilizar para diferentes proyectos de obra a la hora de realizar un arrecife artificial, así como los varios materiales que emplean, acordes con las necesidades del proyecto a ejecutar. Se clasificaron los arrecifes artificiales de acuerdo con el uso que se les puede dar y se analizaron las ventajas y desventajas que cada uno de los tipos de arrecifes puede tener, para determinar el óptimo.

Se estableció un criterio de especificaciones consideran los diferentes procesos de fabricación se analizan los diversos materiales que se pueden utilizar que arrojaron datos distintos y se realizó un comparativo de dichos métodos, para proponer los más adecuados a cada circunstancia.



## VI. RESULTADOS

### I.- Clasificación de los arrecifes artificiales y beneficios que proporcionan.

Después de la realización de la revisión bibliográfica se determina que entre los diferentes arrecifes artificiales, estructuras y materiales a analizar se encuentran:

Arrecifes de oportunidad (barcos, barcazas, aviones, coches, vagón de ferrocarril, Neumáticos de vehículos, piedras, ripio, entre otros).

Arrecifes de protección – hormigón

Arrecifes de producción – hormigón

Arrecifes de producción – hormigón (Reef Ball)

Arrecifes de producción – cerámica ramificada (ecoreef)

Arrecifes mixtos – hormigón

Arrecife artificial monolítico – hormigón

Arrecife fractal artificial – hormigón

Arrecife artificial de reproducción por el método de la electrodeposición (biorock)

Estructuras arrecifales Reef Ball de hormigón en diferentes tamaños, modelos.

#### 1.1.- Beneficios de la creación de arrecifes artificiales

La construcción de arrecifes artificiales, han generado grandes beneficios a muchos países del mundo, no solo en términos económicos sino también en la rehabilitación de los hábitats naturales. Entre los grandes beneficios de su creación están los siguientes:

**Disminución de presión sobre arrecifes naturales.** Uno de los factores más destructivos para los arrecifes naturales, es la sobre explotación. Esto sucede cuando un gran número de pescadores o buzos utilizan un solo arrecife para obtener sus recursos y para bucear. Los arrecifes artificiales presentan un sitio alternativo de buceo por lo que disminuyen la presión sobre un solo arrecife, permitiendo la regeneración de vida en los arrecifes naturales y otorgando descanso a los ecosistemas sobreexplotados (Pérez del Toro Rivera, 2001).

**Generación de espacios para nueva vida submarina.** Cada arrecife es capaz de sostener una determinada cantidad de vida según su tamaño y las condiciones de su ambiente, pues a medida que se erosionan los arrecifes, disminuye la cantidad de vida que pueden sustentar. Esto afecta directamente a la cantidad de pesca y recursos marinos que se pueden explorar. La creación de arrecifes artificiales genera nuevos espacios de vida y refugio para cierta cantidad de flora y fauna, y La colonización de estos arrecifes depende de la profundidad y del medio en el que se encuentre, pero en general son colonizados por algunos tipos de esponjas, algas, corales, anemonas, y distintas especies de peces (Pérez del Toro Rivera, 2001).

**Beneficios económicos a la población local por medio del ecoturismo.** Cada vez son más las personas que se interesan por la exploración submarina y los barcos son una gran atracción para el buceo. Esta actividad ecoturística permite el desarrollo económico de la comunidad en armonía con la naturaleza (Pérez del Toro Rivera, 2001). México es hoy en día, uno de los países con mayores posibilidades en esta actividad. Los mares de este país ofrecen todo tipo de atractivos y podrían ofrecer aún más con este tipo de proyectos (Pérez del Toro Rivera, 2001).

**Disminución de pesca ilegal dificultando el uso de redes de arrastre.** La pesca de arrastre es una de las principales causas de degradación de la biodiversidad submarina y sus hábitats. La utilización de aparejos no selectivos implica la captura accidental de especies que acaban descartadas y la erosión de los suelos submarinos y los ecosistemas que lo habitan (Fernández-Muerza, 2010).

Existe un gran número de pesquerías que hacen uso ilegal de redes de arrastre. Este tipo de pesca, sin respetar las normas ambientales, arrasa con todo tipo de vida por donde pasa. Una vez que terminan con los recursos de una zona, se mueven para explorar otra. Esto también afecta a las pesquerías ribereñas que son regionales y que utilizan técnicas sustentables de pesca. Los arrecifes artificiales impiden este tipo de pesca ya que las redes de arrastre quedan

atoradas en los arrecifes y suponen un lugar sobre el que se pueden fijar todo tipo de animales, plantas y organismos vivos, como algas, corales u ostras. Por su parte, diversos peces aprovechan sus recovecos para asentar su hogar (Pérez del Toro-Rivera, 2001).

**Fomentar la educación ambiental e investigación científica.** La biodiversidad mundial está amenazada por el descuido con el que hemos actuado los seres humanos. La única alternativa que tiene este planeta es el aprovechamiento sustentable y responsable de la gran riqueza biológica, representada por la diversidad de las especies y de los ecosistemas en los que se encuentran, cuyo conocimiento es esencial (Arenas, *et al.*, 2011). Entonces, La biodiversidad de los arrecifes artificiales de coral, pueden servir como recurso educativo para mostrar a las nuevas generaciones la importancia del cuidado del medio ambiente, entonces la prioridad debe ser educar para conservar (Arenas, *et al.*, 2011).

La creación de un arrecife trae consigo un beneficio ambiental que promueve el uso adecuado de los recursos naturales y por ende permite su regulación y aprovechamiento sustentable. Así se va creando una cultura ecológica y ambiente que puede ser transmitida a todas las personas. Paralelamente la ciencia puede generar conocimientos de una gran diversidad de investigaciones que pueden incorporarse a los diferentes sectores productivos y asimismo contribuir con la enseñanza y concientización (Arenas, *et al.*, 2011).

**Absorción de CO<sup>2</sup> de la atmosfera.** La pérdida de arrecifes tiene un impacto significativo porque hasta la fecha no han sido contemplados como uno de los principales sumideros de CO<sup>2</sup>, lo cual revertiría parcialmente el calentamiento global y todos los efectos nocivos del cambio climático (Bird y Molinelli, 2001). En años recientes el cambio climático global por un lado incrementando los eventos de blanqueamiento coralino y la subsecuente mortandad de los corales y por el otro la acidificación de los océanos ha emergido quizás como la mayor amenaza para la supervivencia de los arrecifes de coral. Sin duda alguna, la habilidad de los arrecifes para recuperarse de eventos anormales de calentamiento, tormentas

tropicales y otras perturbaciones fuertes, es profundamente afectada por el nivel de los impactos crónicos antropogénicos.

Por el contrario, cuando los arrecifes son saludables y no están estresados, pueden a menudo recuperarse rápidamente (entre 5 y 10 años). Estos arrecifes pueden ser descritos como resilientes en cuanto a que regresan a un estado similar al estado pre-disturbio después del impacto. A diferencia, los arrecifes que ya se encuentran perturbados por las actividades humanas, a menudo muestran una pobre habilidad para recuperarse (por ejemplo, carecen de resiliencia). Las perturbaciones naturales han afectado a los arrecifes de coral por milenios antes que los humanos provocaran impactos y los arrecifes se recuperaban naturalmente (Edwards y Gómez, 2007). Sin duda alguna, la mayor importancia de los arrecifes a nivel planetario es su intervención en el ciclo del carbono, particularmente en la atmósfera.

## **1.2.- Aspectos socioeconómicos de los arrecifes artificiales**

El Manejo Integral de la Zona Costera es un proceso dinámico que reúne gobiernos y sociedades, científicos y administradores, intereses públicos y privados, todos en favor de la protección y desarrollo de sistemas y recursos naturales costeros, así como del buen uso de todas las oportunidades que la zona costera ofrece al ser humano (Granados-Barba, *et al.*, 2007).

El objetivo final de todo proyecto de arrecife artificial es mejorar las condiciones económico-sociales de una zona litoral. Además de un seguimiento ecológico-ambiental y de las condiciones físicas del arrecife y las playas próximas, el impacto positivo sobre la vida marina y la costa es necesario medirlo en términos económicos y sociales para poder planear con objetividad nuevos proyectos (Serra-Peris y Medina-F., 1988).

La necesidad de una evaluación económica y social de la implantación de cualquier obra es elemento necesario para poder integrar planes económicos globales con el máximo rendimiento posible. A pesar de ello, en el caso de los

arrecifes artificiales es muy difícil calcular los beneficios, a diferencia de otras obras de más fáciles de evaluación (Serra-Peris y Medina-F., 1988).

Los objetivos de la restauración arrecifal están dictados por limitaciones económicas, legales, sociales y políticas así como por realidades ecológicas. Sin embargo, ignorar el aspecto ecológico significa un alto riesgo de fracaso. Además, los proyectos de restauración se deben formular desde un principio con la mayor precisión posible, considerando las diferentes formas de alcanzarlos dentro un contexto amplio de planeación del manejo costero. (Edwards y Gómez, 2007).

En la implantación de arrecifes artificiales, según (Serra-Peris y Medina-F., 1988), algunos factores económicos y sociales de importancia son:

- Intereses económicos de pescadores artesanales.
- Intereses económicos de pescadores de arrastre.
- Intereses económicos- sociales del sector pesquero.
- Intereses económico-turísticos de los municipios costeros.
- Intereses turístico-recreativos de pescadores deportivos.
- Generación de empleo local
- Utilización de líneas de financiaciones comunitarias y Estatales.
- Preocupación por mantener y mejorar la capacidad de producción de los caladeros.
- Preocupación por recuperar y preservar el equilibrio ecológico marino en nuestras aguas.

### **1.3.- Valoración económica de los arrecifes artificiales**

Cuando las estructuras artificiales están bien construidas y ubicadas de manera que permanezcan estables en condiciones de tormentas, sirven para atraer peces; entonces, si se considera para la restauración, la estética y la apariencia natural de las estructuras artificiales, esto puede tener beneficios tanto al inicio como después de la colonización por corales y otros organismos arrecifales (Edwards y Gómez, 2007).

Es importante mantener poblaciones saludables de peces arrecifales para conservar el bienestar económico y ecológico de la región. Los peces arrecifales son importantes para diferentes grupos de usuarios y en general, las personas que aprovechan estos peces tienen intereses comerciales, artesanales, recreacionales y científicos. Estos usos son importantes y no implican el consumo de los peces arrecifales, como las pesquerías comerciales y de subsistencia. Entonces, el turismo, el buceo deportivo, la educación y la investigación científica, pueden entrar en conflicto con los usos que conllevan el consumo (De la Nuez, 2013).

La población humana en crecimiento ha incrementado la demanda de peces extraídos de los arrecifes debido a que constituyen una fuente de proteína de bajo costo. Este incremento de la demanda, junto con los avances de la tecnología pesquera, han significado que muchas poblaciones de peces arrecifales sean seriamente sobreexplotadas, o por lo menos explotados al máximo. Los peces arrecifales son vulnerables a la sobrepesca debido a que muchas especies son longevas, de crecimiento lento, de maduración lenta, presentan reproducción tardía y son fácilmente capturables. En consecuencia, la pesquería se verá beneficiada de los arrecifes artificiales al aumentar los espacios productivos (Tunnell *et al.*, 2010).

#### **1.4.- Aspectos legales**

En nuestro país, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, es la carta magna que rige la soberanía de la Nación, de ella se desprende leyes y reglamentos en materia ambiental en el art. 27 constitucional que enmarca todos los aspectos legales encaminados a la protección de los ecosistemas marinos. Existen también leyes y normas mexicanas con este mismo fin. Como ejemplo de ellas pueden citarse la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Áreas Naturales Protegidas, la Ley de Pesca, Reglamento de la ley de pesca, ley de Aguas Nacionales, Tratados internacionales, Normas oficiales Mexicanas (Semarnat, 2013).

La Ley Federal de Pesca y el Reglamento de la Ley Federal de Pesca establecen las medidas de regulación que rigen la conservación, preservación, explotación, y manejo de toda flora y fauna acuática en México (Semarnat, 2013).

#### Normas Oficiales Ambientales

Estas son las NOM Oficiales Ambientales que conciernen a los arrecifes naturales de coral de acuerdo a la SEMARNAT (2013):

- La NOM-006-PESC-1993
- La NOM-008-PESC-1993
- La NOM-013-PESC-1994
- La NOM-05-TUR-1998
- La NOM-029-PESC-2000
- La NOM-022-SEMARNAT-2003
- La NOM-059-SEMARNAT-2010

Tratados o convenios Internacionales en cuestiones marítimas y ambientales:

- Convención de las Naciones Unidas sobre el derecho del mar (CONVEMAR).
- Convenio de Ramsar.
- Convención sobre Diversidad Biológica.
- Los acuerdos Tuxtla I y II.
- Los acuerdos tomados en el seno de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo.
- Convenio de Cartagena.

#### **1.5.- Criterios para el diseño de estructuras de un arrecife artificial.**

La tecnología utilizada para la elaboración de un arrecife artificial es cada vez más refinada, ya que en Japón las industrias han sido capaces de desarrollar cerca de 100 diseños comerciales de unidades prefabricadas de arrecifes, hechas de material duradero y fuerte (cemento, acero y plástico). Por ejemplo, se han

formado inicialmente con barcos hundidos, troncos de madera, piedras, bloques y tubos de concreto, carrocerías de automóviles. Después con estructuras prefabricadas con fibra de vidrio y plástico, otras estructuras metálicas y más recientemente con estructuras ReefBalls y llantas usadas, campo eléctrico, etc. Se han construido arrecifes artificiales denominados Tsukiiso, especialmente para expandir arrecifes naturales o crear nuevas áreas (Edwards y Gómez, 2007).

Dentro del ámbito de la restauración física está el uso de arrecifes artificiales, que puede ser desde bloques de piedra caliza hasta módulos de concreto (por ejemplo, ReefBalls) o de cerámica (por ejemplo, EcoReefs), o minerales (brusita o aragonita) depositados electrolíticamente sobre estructuras de malla de alambre (por ejemplo, BioRoc). El uso de estas estructuras en los proyectos de restauración debe ser considerado cuidadosa y críticamente, dado que los arrecifes artificiales se colocan en las aguas costeras con diversos fines, los hay de varios tipos y muchos de ellos han sido construidos especialmente para cumplir la función prevista (Convenio de Londres y Protocolo/PNUMA, 1972). Sin embargo, los peces son atraídos por estructuras sumergidas y permanecen en su vecindad, entonces, cualquiera que sea el motivo de esta atracción, hay más pesca en los sitios donde hay objetos que en áreas desprovistas de ellos (Puerta, 1982, Cifuentes-Lemus, *et al.* 1997)

Un ejemplo es en un área de la costa de California donde la pesca a la rastra había demostrado la escasez de peces, se usaron carrocerías de automóviles y de autobuses para atraerlos. Después de colocar los arrecifes, los buzos biólogos comprobaron, mediante visitas periódicas, que durante un periodo de dos años y medio el número de peces aumentó notablemente. Las medidas obtenidas por estas visitas individuales proporcionan lo que los ecólogos llaman estimaciones con la cosecha en pie o estimaciones en un momento dado (Puerta, 1982).

Estos ambientes artificiales son difíciles de estudiar, pero a pesar de todas las complicaciones experimentales, cada vez se acumulan más datos que indican que los arrecifes convenientemente diseñados y colocados en áreas adecuadas,



teniendo en cuenta las corrientes, la naturaleza del fondo y la proximidad de otros arrecifes, hacen aumentar la producción notablemente (Puerta, 1982).

### **1.6.- Tipo de módulos viables para la construcción de un arrecife artificial**

En el mundo existen multitud de estructuras que se han instalado como arrecifes artificiales, con diferentes objetivos. En definitiva, se emplean muchas formas, fabricadas en materiales diversos y con mayor o menor grado de sofisticación en su diseño y construcción (Serra-Peris y Medina-F., 1988; Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008) de acuerdo a la siguiente clasificación:

#### **Estructuras específicamente diseñadas y construidas para servir como arrecifes artificiales**

**Bloques de hormigón:** están compuestos por materiales de hormigón armado y macizo en varias morfologías normalmente cúbicas (Figuras 1 y 2), aunque también existen diseños cilíndricos y piramidales (Figura 3). Estas estructuras, debido a su masa y diseño, suelen ser muy estables (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008). El hormigón es mejor conocido como concreto. El concreto hidráulico es una mezcla de agregados pétreos naturales, procesados o artificiales, cementantes y agua, a la que además se le pueden agregar algunos aditivos. Generalmente, ésta mezcla es dosificada en unidades de masa en plantas de concreto y premezclado y en masa y/o en volumen en las obras (García-Rivero, 2008).

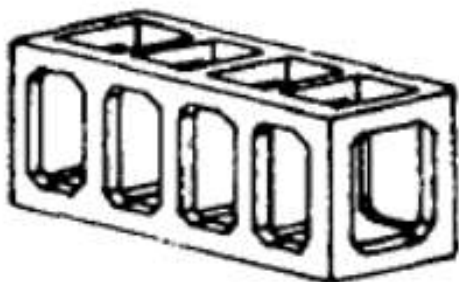


Figura 1. Modelo Rectangular (hormigón armado)

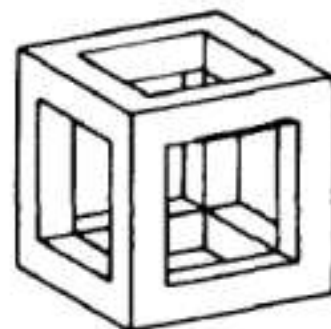


Figura 2. Modelo Cubo (hormigón armado)



Figura 3. Módulo Pirámide (hormigón armado).

**Estructuras de hormigón con elementos disuasorios o antiarrastre:** son bloques similares a los anteriores pero acompañados por estructuras anexas que le dan una complejidad mayor para un determinado fin, por ejemplo: evitar el paso de artes de pesca de arrastre. Normalmente estos elementos son vigas de acero o de hormigón que atraviesan los bloques en sentido vertical y horizontal (Figuras 4 y 5), de modo que le dan más estabilidad a los bloques de hormigón en el fondo marino y consiguen la finalidad defensiva para la que son diseñados (Figura 6). Se trata, por tanto, de estructuras específicamente diseñadas para disuadir a los buques pesqueros que utilizan técnicas de arrastre a profundidades o sobre fondos no permitidos: inferiores a 50 m (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

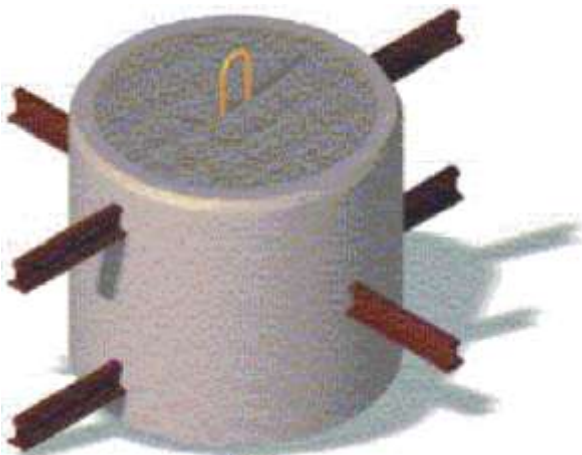


Figura 4. Módulo de protección (hormigón)

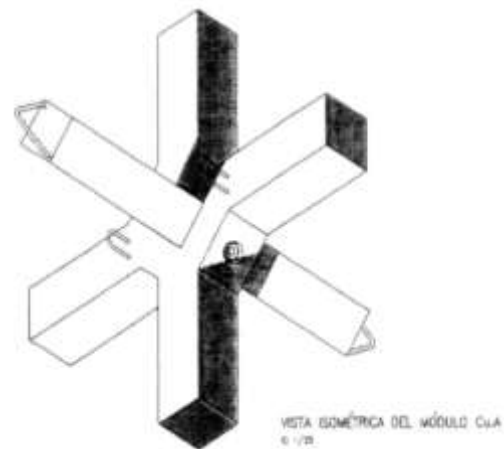


Figura 5. Módulos para arrecife artificial tipo AA1 (Módulo antiarrastre)



Figura 6. Módulo estructural antiarrastre

**Los módulos de protección mixta:** Se han empleado en la protección de zonas previamente degradadas o con una carga orgánica mayor de la habitual, generalmente ocupando fondos arenoso-fangosos donde funcionan como elementos de protección frente a la pesca ilegal de arrastre (Figuras 7 y 8). Donde además, inducen a la colonización de especies no existentes con anterioridad en esas áreas fangosas al proporcionar sustratos limpios para la fijación de organismos que antes no se encontraban asociados a la zona (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

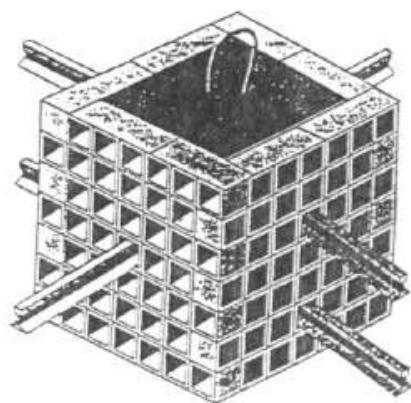


Figura 7. Módulo arrecifal mixto



Figura 8. Módulo arrecifal mixto de protección-reproducción (hormigón armado)

Es importante destacar que a los módulos de protección se les puede dotar de cierta funcionalidad de módulo de producción aumentando, por ejemplo, su superficie para fijación de organismos, pero generalmente a los módulos de producción no es recomendable dotarles de elementos estructurales de protección puesto que los módulos o cúmulos de módulos alveolares ya tienen masa suficiente para funcionar como unidades disuasorias del empleo de artes de arrastre y sin embargo puesto que generalmente se hacen para crear nuevas zonas de pesca o para actividades de buceo, la presencia de elementos sobresalientes como vigas o elementos que provocan enganches de redes en módulos que se encuentran muy próximos entre sí puede provocar un efecto negativo de pérdidas de artes que provocan las denominadas pescas fantasma esto es artes que se enganchan alrededor de los módulos del arrecife de producción, se pierden y que pueden provocar capturas improductivas e incontroladas durante largos periodos de tiempo (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

**Módulos de hormigón con orificios alveolares:** son bloques estructuralmente diferentes a los anteriores, aunque también compuestos de hormigón (Figura 9). Son estructuras usadas con fines productivos (Figura 10), por lo que están compuestas por numerosas cavidades cuya finalidad es que los organismos (flora y fauna) colonicen su superficie de la manera más eficiente posible con el fin de albergar la máxima biodiversidad y fomentar la producción de los recursos pesqueros (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008)

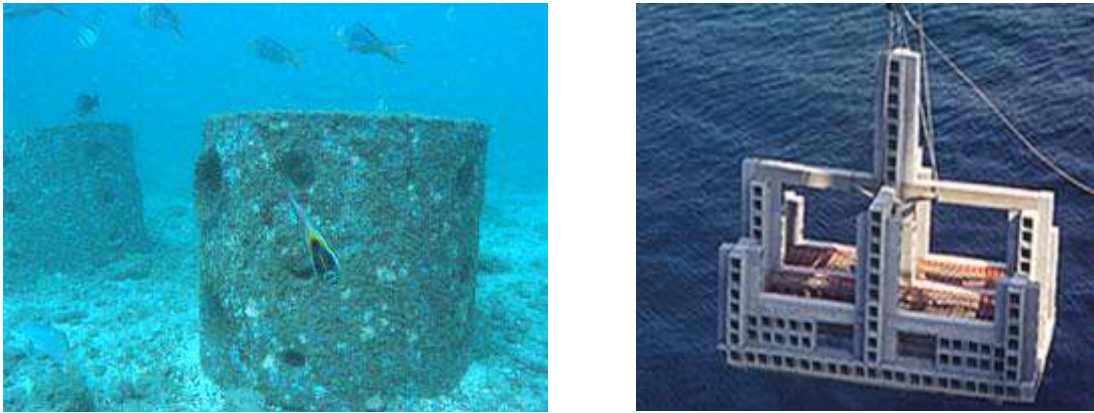


Figura 9. Módulos de hormigón con orificios alveolares



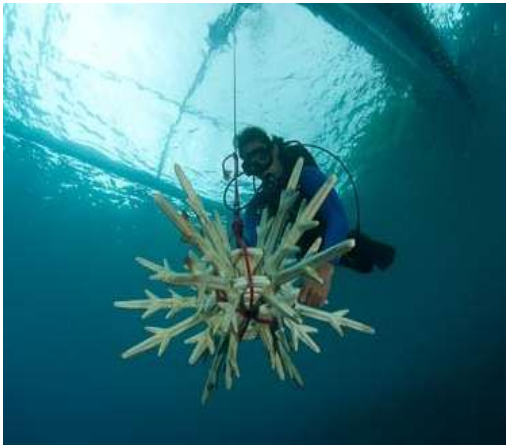
Figura 10. Módulo de tubo de hormigón con fines de producción

**Estructuras de cerámica ramificadas o ecocorral:** son estructuras similares a las de hormigón con elementos disuasorios en cuanto a su finalidad, protección de ecosistemas frente a arrastre. Su diseño y composición de materiales, en este caso de cerámicas, los diferencian de las estructuras de hormigón (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008). Los arrecifes artificiales de cerámica



ramificada constituyen otro ejemplo de arrecifes con fines productivos. Se trata de unas estructuras formadas por una base más o menos cilíndrica de la que salen una serie de brazos ramificados repartidos en todas las direcciones, que dan a la estructura un aspecto similar al de los copos de nieve (Figura 11). Estas estructuras, especialmente diseñadas para la colonización de especies coralinas, se suelen instalar con el objetivo de recuperar arrecifes de coral degradados. De la misma manera que ocurre con los módulos alveolares, el número y distribución de las estructuras que constituyan el arrecife resulta esencial para alcanzar los objetivos perseguidos por éste (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

A



B



C



D



Figura 11. Módulos de cerámica ramificada. Transporte (A), colocación (B), establecimiento inicial (C) y establecimiento avanzado (D).

**Estructuras Matrix de PVC y hormigón con cavidades:** son estructuras compuestas por PVC u hormigón de diseño complejo y alta superficie (Figura 12). Aunque originalmente estos módulos nacieron como simples elementos experimentales para recolección de organismos en áreas de arrecifes naturales, cuyas dimensiones los hacían elementos insignificantes desde el punto de vista funcional como inductores de cambios en el ecosistema, versiones modificadas del diseño original se han mostrado muy eficaces con fines productivos. Su finalidad, no obstante, es principalmente científica, de manera que todas sus caras queden completamente colonizadas y alberguen comunidades de una alta y rica biodiversidad (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).



Figura 12. Módulos Matrix de pvc y hormigón.

**Diques exentos:** son estructuras a base de bloques macizos de hormigón (Figura 13 A) de numerosos diseños colocados a una cierta distancia de la costa (aunque los bloques pueden ser de otros muchos compuestos como los formados con contenedores de geotextil, Figura 13 B ) e incluso de piedra natural (Figura 13 C) Su principal función es la de proteger la línea de costa de la erosión litoral (Figura 13), pudiendo servir también para crear un oleaje propicio para deportes acuáticos como el surf (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008). Generándose un hábitat marino incondicionalmente al realizar algún proyecto de obra con otra funcionalidad.

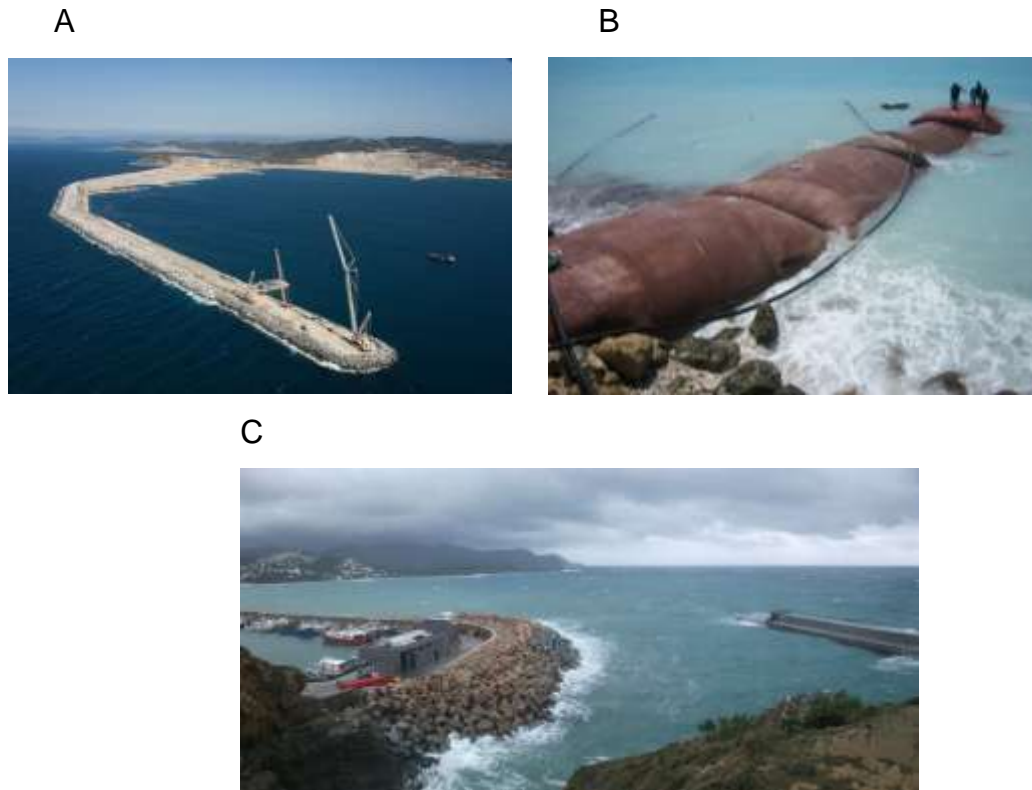


Figura 13. Modulos estructurales de diques exentos. Con bloques de concreto (A), con geotextiles (B) o con piedra natural (C). El hábitat se genera de manera colateral aunque no sean diseñados con ese proposito

**Estructuras de electrodeposición o biorock:** El proceso de electrodeposición de minerales en el agua de mar conocido como acreción mineral tecnología fue desarrollada por Hilbertz (1974), a través de aplicaciones extensas de experimentación, demostración y proyectos comerciales. Se inició en 1974 y abarca estructuras de defensa costera, estabilización de costas para control de la erosión, los arrecifes artificiales, la maricultura y la construcción naval (Biorock Technology, 2014). El método de electrodeposición (Figura 14) consiste en suministrar una corriente continua, conectando el polo negativo a la malla de alambre y el polo positivo queda suspendido en las cercanías, creándose un campo eléctrico que deposita carbonato de calcio y magnesio extraído de agua de mar en la malla (Coello, 2013).



El campo eléctrico generado es favorable para el crecimiento de los corales y de las algas que viven en simbiosis con ellas, evitando el blanqueo de los arrecifes. En la actualidad, en el mar Caribe (Figuras 15 y 16), las colonias de los corales generadas con el método de la electrodeposición alcanzan tamaños significativos en apenas un año (Coello, 2013).



Figura 14. Esquema conceptual de arrecife por electrodeposición.



Figura 15. Modulo estructural de electrodeposición en el Caribe.



Figura 16. Instalación piloto de arrecifes por electroposición en el caribe con su fuente de energía solar (Tomado de MARENTER).

**Estructuras reefballs:** Los reef ball son los módulos artificiales diseñados de hábitat del mundo que conducen (Figura 17). Son la manera más segura y eficaz de crear el hábitat marino sostenible (Reef ball fundación, 2007)



Figura 17. Módulos estructurales reefballs

Constituido por unidades que se asemejan a una semiesfera hueca, con agujeros de distintos tamaños y que por la técnica utilizada en su fabricación cada una sería única y diferente al resto. Estos arrecifes se fabrican para durar más de 500 años, no llevan refuerzos de acero, sino que su resistencia se logra con los aditivos especiales que resisten la abrasión. El diseño de sus agujeros, más grandes hacia el exterior, además de servir como refugio a los peces, proporciona estabilidad a las unidades frente a las corrientes (Figura 18) (Del Rio, 2014; MARENTER, 2014). Por último, la rugosidad es importante pues ello permite el establecimiento de vida marina.

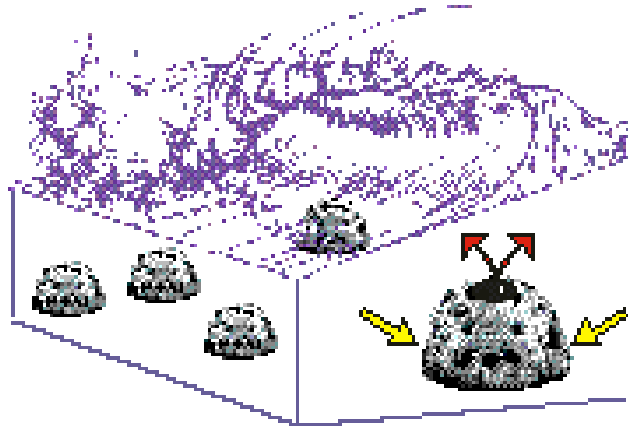


Figura 18- Diseño hidrodinámico reef ball

En arrecifes artificiales con Reefballs se alcanza una productividad espectacular de desarrollo de biomasa. Por ejemplo, en promedio cada uno de los elementos ReefBall produce alrededor de 180 kg de biomasa (animal o vegetal) cada año. Entonces, en sus 500 años de vida promedio, se agregarán más de 9 mil millones de kg de biomasa a los océanos del mundo como resultado de estos arrecifes. Para cada proyecto específico, se debe estudiar el anclaje de los Reefballs que garanticen la estabilidad de arrecife. La colocación de las estructuras Reef Ball (Figura 19) dependerá del tipo de sustrato en que se establezcan (Tabla 1), en sustratos arenosos o rocosos, se emplean anclas de tipo manta raya o de fibra de vidrio, para asegurar la estabilidad de los elementos, aun en situaciones de marejada extrema (MARENTER, 2014).



Figura 19. Buzo colocando estructura reef ball

Tabla1. Clasificación de modelos tipo reef ball.

Tipo	Ancho (m)	Alto (m)	Peso en (kg)	Volumen de Concreto m <sup>3</sup>	Área de la Superficie m <sup>2</sup>	# Hoyos
Ultra Ball	1.83	1.37	1814-2722	0.76	13.9	29-34
Reef Ball	1.83	1.22	1360-2722	0.57	12.1	29-34
Pallet Ball	1.22	0.9	680-998	0.25	7.0	17-24
Bay Ball	0.9	0.61	170-340	0.08	2.8	10-16
Mini-Bay Ball	0.76	0.53	68-90	< 2 sacos de 50 kg.		8-12
Lo-Pro	0.61	0.46	32-45	<1 saco de 50 kg		6-10
Oyster	0.46	0.30	14-20	<1 sacos de 25 kg.		6-8

**Modulo estructural artificial monolítico:** Construidos con concretos especiales y acero de refuerzo, cuidando mucho la resistencia, permeabilidad y pH del concreto, lo cual fomenta una rápida adherencia de diferentes organismos y prolonga la vida de la estructura arrecifal (Qualti, 2013)

Existen arrecifes artificiales monolíticos de pequeñas dimensiones, hasta arrecifes de 70 cm de altura por 120 cm de diámetro. Las estructuras se preparan para ser ancladas a sustratos rocosos y arenosos (Figuras 20 y 21), utilizando un sistema de anclaje marino (Qualti, 2013).



Figura 20. Instalación de estructura monolítica.



Figura 21. Estructura instalada.

**Modulo estructural fractal:** Son arrecifes artificiales de forma fractal modular que permiten la colocación de estructuras de formas variadas y complejas tratando de asemejarse a las estructuras arrecifales naturales (Figuras 22 y 23). Estas estructuras son construidas con concreto especial y acero de refuerzo, cuidando la resistencia, permeabilidad y pH del concreto. Lo cual fomenta una rápida adherencia de diferentes organismos y prolonga la vida de la estructura arrecifal (Qualti, 2013).

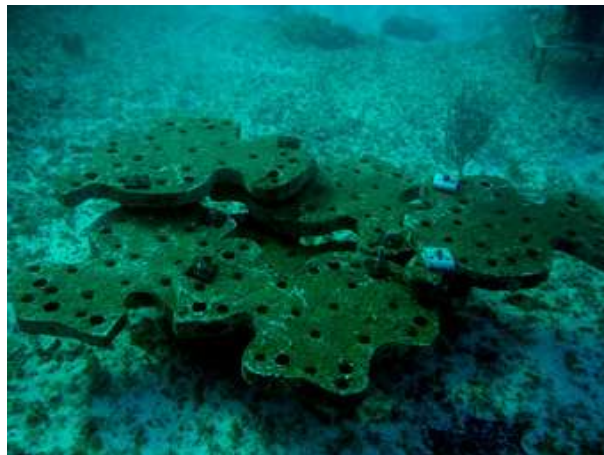


Figura 22. Estructura fractal.



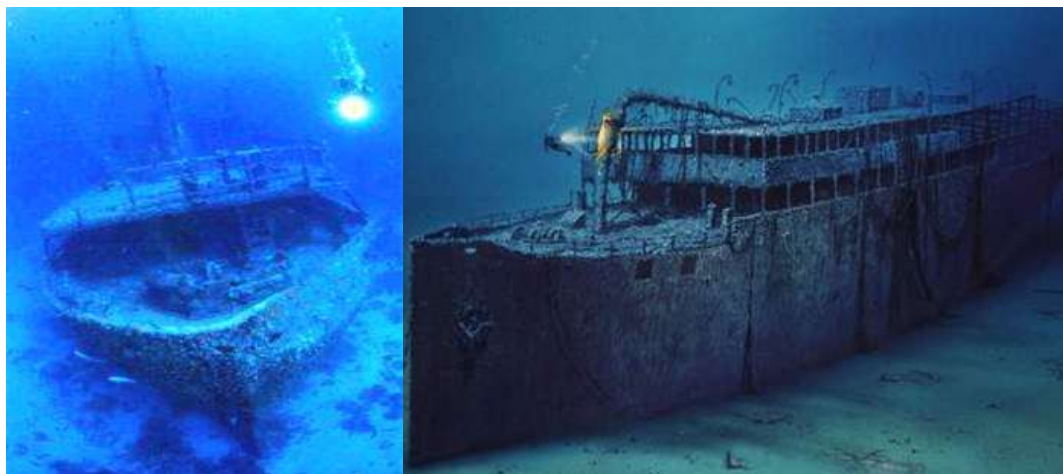
Figura 23. Anclaje de estructura fractal.



## **Estructuras no diseñadas o construidas originalmente para servir como arrecife artificial**

**Pecios:** son cualquier tipo de buques colocados en el fondo marino, teniendo la capacidad de actuar como arrecifes (Figura 24). Esto ha sido una práctica muy generalizada en algunos países; principalmente, Estados Unidos, Canadá, Japón, Australia o Nueva Zelanda. Por la complejidad en sus estructuras, actúan en el medio marino como refugio de numerosas especies, con lo que aumenta la producción de especies de flora y fauna. Además de los pecios abandonados por accidentes, otros se hunden intencionadamente con el propósito de conseguir estos fines bioacumulativos. (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

En muchos casos, estos pecios hundidos han sido destinados como atractivo turístico. En otras ocasiones, se ha combinado su función recreativa con la de regeneración artificial en zonas deterioradas, propiciando estructuras sobre las que pudieran desarrollarse animales, plantas y comunidades que necesitan sustratos duros para su fijación. Cuando el hundimiento es intencional, es indispensable que los pecios hayan sido adecuadamente limpiados de componentes tóxicos y ser situados con un riguroso criterio ambiental, realizando un seguimiento del impacto (positivo o negativo), que estas estructuras provoquen (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).



Figuras 24. Módulos llamados pecios con material de oportunidad

**Rocas naturales:** son comúnmente utilizadas en los diseños destinados a la protección de la línea de costa de la erosión litoral, pudiendo servir también para crear un oleaje propicio para deportes acuáticos como el surf. Se instalan siempre amontonadas y alineadas, creando escolleras o diques exentos (Figura 25) (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).



Figura 25.. Modulo de rocas naturales

**Estructuras en desuso:** se trata de plataformas de exploración o explotación submarina, vagones de tren, aviones, pantalanes abandonados u otras estructuras antrópicas que han sido utilizadas como arrecifes artificiales de protección litoral y producción biológica (Figura 26). En algunos países se han venido utilizando otros elementos como los neumáticos, sin embargo, con el paso de los años se ha demostrado que estos son ineficientes y que ocasionan muchos problemas por su inestabilidad y la poca capacidad para la fijación de fauna sésil. Además, generan deterioro estético y ambiental generalizado en las áreas donde han sido instalados. Entonces, la utilización de objetos obsoletos prefabricados para otros usos, no debe aconsejarse para la generación de arrecifes artificiales, salvo que su viabilidad se garantice con estudios previos exhaustivos (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).



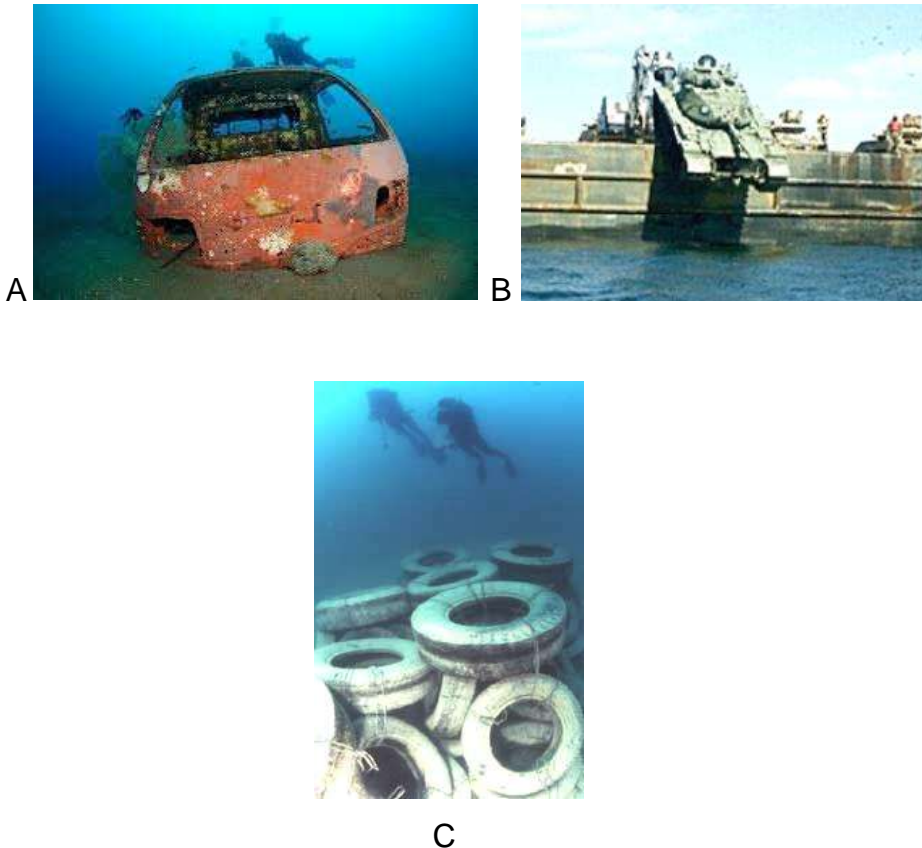


Figura 26. Módulos de estructuras en desuso como materiales de oportunidad. A) Vehículos, B) Estructuras de acero C) Materiales como llantas.

### 1.7.- Clasificación de los arrecifes artificiales según su uso o finalidad

La mayor parte de los arrecifes artificiales que se instalan tienen la finalidad de aumentar los recursos pesqueros. También existen arrecifes de protección costera, de restauración de espacios alterados (por ejemplo, dragado de arena para alimentación de playas), y algunos cuyo principal objetivo es el fomento de actividades subacuáticas. Sin embargo, los arrecifes artificiales pueden estar destinados a otros fines y su forma, tamaño, material utilizado, profundidad de instalación y otros factores, serán determinantes para que un arrecife artificial cumpla adecuadamente con los propósitos para los que ha sido diseñado. Entonces, se presenta una clasificación de los arrecifes artificiales de acuerdo a su uso (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

### 1.7.1 Arrecifes artificiales destinados a actuar sobre el medio físico

Aunque existen diferentes tipologías, todas presentan como objetivo principal, disipar la energía del oleaje para fines de protección, creación de playas artificiales o para modificar la forma de las olas (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

Este grupo incluye a su vez, cinco tipos de aplicaciones:

#### *De protección costera.*

Se trata de diques exentos o diques-arrecife, cuya función principal es la de disipar la energía del oleaje con el fin de proteger la costa frente a la erosión (Figura 27). Son diques de tipo bloques de hormigón con efectos en la hidrodinámica y la geomorfología (sobre las playas y el transporte litoral de arena). No obstante pueden originar alteraciones físico-químicas de la columna de agua y del sedimento. La profundidad a la que se colocan no afecta a la navegación marítima, aunque pueden llegar a dañar otras infraestructuras durante su colocación (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).



Figura 27. Protección de la línea de costa frente al oleaje mediante un arrecife artificial.

### *Arrecifes artificiales destinados al turismo y ocio.*

Son diques-arrecife diseñados especialmente con el fin de producir un oleaje adecuado para la práctica del surf, que se colocan a determinada distancia de la línea de costa. A diferencia de los arrecifes artificiales de protección costera, los destinados al turismo y ocio pueden contener bloques de composición geotextil. Este es un material flexible que evita accidentes a quienes bucean y forman bloques que se conocen como geocontenedores. Tienen efectos en la hidrodinámica y la geomorfología litoral, y fomentan las prácticas de actividades acuáticas deportivas y turísticas (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

La técnica consiste en estudiar la dinámica de las olas en el lugar y mejorarlas, esto se hace hundiendo grandes sacos de geotextil rellenos de arena (Figura 28). El nuevo arrecife le da forma a las olas y a su vez se convierte en hábitat para las especies marinas, disminuyendo la erosión en las orillas, atrae a turistas y a los deportistas (Plataforma urbana, 2014).

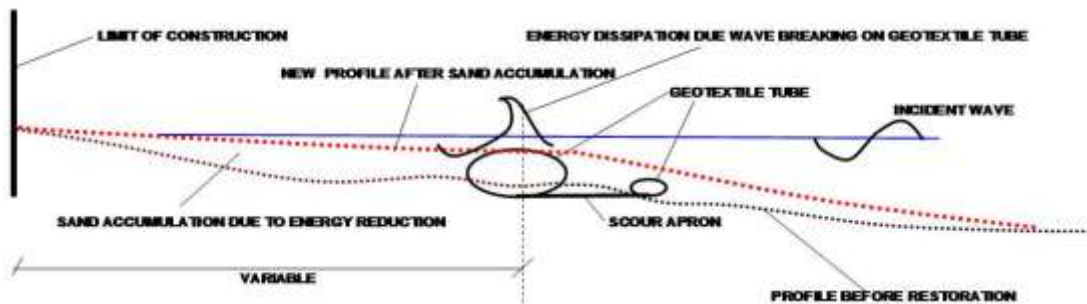


Figura 28.-. Módulo de geotextil en protección de costas

*Arrecifes artificiales polivalentes (protección costera, turismo y ocio).*

Son destinados a facilitar las condiciones adecuadas para el uso recreativo o deportivo a la vez que protegen la costa, también se les conoce como diques-arrecife polivalentes. En el caso de las barreras arrecifales sumergidas, pueden instalarse en algunas playas para crear las olas adecuadas para la práctica del surf (Figura 29). También se incluyen las escolleras sumergidas exentas para la creación de playas artificiales. En estos lugares el transporte litoral no permite olas de forma natural y zonas de baño seguras en costas muy expuestas al oleaje (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).



Figura 29. Módulo de geotextil en protección de costas turismo y ocio. Los geotextiles en el fondo favorecen la formación de olas.

*Arrecifes artificiales destinados a la creación de zonas de fondeo.*

Se trata de diques exentos o diques-arrecife que disipan la energía del oleaje con el fin de proporcionar áreas abrigadas para el fondeo de barcos pequeños. Estas zonas abrigadas fomentan además la práctica de ciertas actividades como los deportes acuáticos o la acuicultura (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

*Arrecifes artificiales para la protección de infraestructuras marinas.*

Este tipo de arrecifes artificiales, al igual que el caso anterior, tienen como objetivo disipar la energía del oleaje para proteger infraestructuras marinas como las jaulas

de acuicultura, emisarios submarinos o pequeños puertos (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

### **1.7.2.- Arrecifes artificiales destinados a actuar sobre la biota**

Engloba la mayor parte de los arrecifes artificiales, con cuatro tipos según su finalidad:

#### *Arrecifes artificiales destinados a gestión pesquera.*

Se trata de los arrecifes más comunes y presentan diferentes objetivos dentro de la gestión pesquera (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

#### *Arrecifes artificiales de protección.*

Suelen estar contruidos con módulos pesados y relativamente simples, como bloques de hormigón de distintas formas, están provistos a menudo de elementos disuasorios y no están contruidos para fomentar el establecimiento de especies o la ocupación por estas, por el diseño liso que tienen (Figura 30), donde a falta de orificios o cavidades, las especies no se pueden reproducir fácilmente. A diferencia de los arrecifes artificiales de producción, las unidades o módulos que los forman se distribuyen sobre el fondo marino separados entre sí de forma que se proteja el máximo de superficie con el mínimo número de unidades.

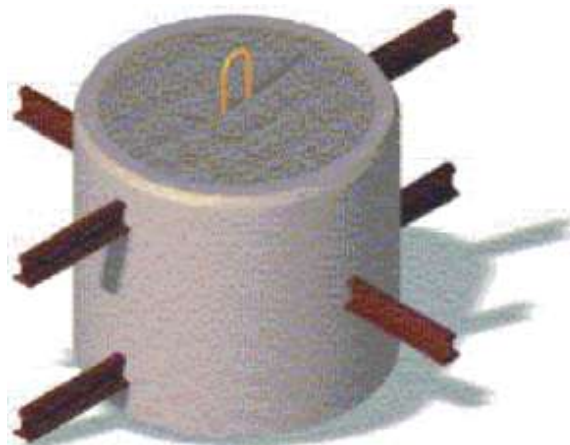


Figura 30. Módulos para un arrecife artificial (con brazos disuasorios) para la protección de hábitats contra actividades pesqueras ilegales.

Generalmente, se ordenan en barreras o polígonos arrecifales de protección, los módulos se distribuyen contrapeados en filas para cubrir las posibles trayectorias de los lances de arrastre de tal forma que la separación entre unidades sea de entre 50 a 150m. También se pueden distribuir dispersos al azar, pero creando obstáculos de posición predecibles (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008). Por último estarían las estructuras que por su forma, peso y estabilidad disuadir o impedir el acceso de los barcos con artes de arrastre, antes mencionados a la zona de reproducción (Gayo, 1998).

Considerando que la pesca de arrastre utiliza un gran saco de red, o copo, dispone de unas cadenas en la parte delantera para remover el suelo marino que arrastra por el fondo para apresar especies como los peces planos. Entonces, para proteger la entrada de la red, el peso de la estructura de protección se calcula en función de la potencia que puedan desarrollar los barcos de la flota, de manera que presente la suficiente estabilidad al empuje, deslizamiento y vuelco. Su diseño y forma presentará los suficientes puntos de enganche y robustez que permitan el bloqueo, estorbo o desgarramiento de las redes de arrastre, impidiendo el avance (Figura 31). El peso óptimo de este tipo de elementos se estima entre 3 y 7 toneladas en seco (Gayo, 1998). En cualquier caso, siempre se busca la máxima efectividad a menor costo, tanto económico como ambiental, tomando en cuenta la posible práctica de otras actividades pesqueras en la zona diferentes a las que se desea impedir (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

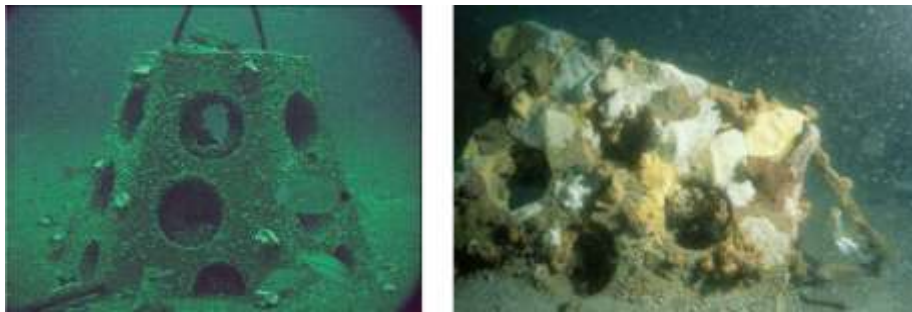


Figura 31- Estructura de Protección

### *Arrecifes de producción.*

Tienen como finalidad el desarrollo y regeneración de la fauna marina, favoreciendo la repoblación, puesta y reproducción de las diferentes especies que lo colonicen (Gayo-Romero 1998). Su principal función es aumentar la biomasa de los recursos pesqueros, incrementando la supervivencia, el crecimiento y la reproducción de los mismos. Pueden ser estructuras muy variadas, cuyo diseño y material dependerá de la/s especie/s cuya producción se pretenda maximizar. Los diseños pueden llegar a ser de hormigón con estructura alveolar, pecios, de tipo mixtos, tipo matrix o estructuras formadas mediante electrodeposición (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

Para los arrecifes de reproducción se incluye mayor variedad de materiales y estructuras capaces de alcanzar los objetivos perseguidos. Se decidirá entre un diseño u otro en función de las especies que se pretendan albergar. El diseño habitual es el llamado módulo alveolar (Figura 32), cuya característica principal es la presencia de alvéolos o cavidades diseñados para el asentamiento o refugio de las diferentes especies y el desarrollo de superficie apta para la fijación de organismos sésiles principales responsables del aumento de biomasa por producción secundaria. Los arrecifes alveolares pueden estar contruidos con diferentes materiales, pero suelen estar generalmente formados por una o varias piezas de hormigón de diferentes formas y tamaños (cúbicas, semiesféricas, poliédricas, etc.). También pueden ser una pieza cerrada única, con una serie de cavidades, al ser hueca por dentro aumenta la capacidad de asentamiento de los organismos (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).



Figuras 32. Arrecifes artificiales destinados a hábitats para organismos marinos (Fuente: Convenio de Londres y Protocolo/PNUMA, 1972).



Una estructura alveolar habitualmente utilizada son los módulos semiesféricos perforados, constituidos por semiesferas de hormigón atravesadas por una serie de orificios esféricos de diferentes diámetros. Estos módulos tienen un sistema basado en moldes de goma hinchables, de relativamente fácil manejo, que permite que se construyan en cualquier lugar. El número y tamaño de cavidades, así como la forma de los módulos (altura, perfil, relación superficie/volumen, etc.) y el material de los mismos, influirán determinadamente en la diversidad y la abundancia de los organismos que se asienten en ellos (Figura 33). Cuanto más compleja sea la estructura, mayor será la diversidad de especies que utilicen el arrecife ya sea como sustrato, refugio, zona de alimentación, de paso o de cría. Otro factor a considerar para alcanzar los objetivos de la diversidad y abundancia que se pretenda obtener será el patrón de distribución sobre el fondo; variando el número de módulos y la superficie en la que se vayan a distribuir (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

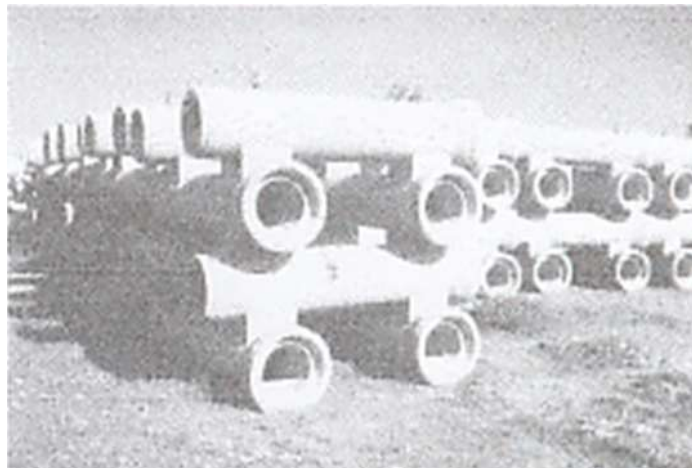


Figura 33. Estructuras de Reproducción

*Arrecifes artificiales de concentración o atracción.*

Técnicamente son similares a los de producción con un diseño común. Sin embargo, se considera de interés clasificarlos independientemente por algunos aspectos en su construcción que los hace diferentes. Su objetivo es atraer a ciertas especies y concentrarlas en una zona determinada, de manera que se hallen bien localizados para su pesca o para su observación si la finalidad es crear



una zona de buceo deportivo donde esté prohibida la pesca. En otras ocasiones no se trata de aumentar la riqueza biológica del ecosistema, sino de concentrar determinadas especies en una zona (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

Por otra parte, los arrecifes de concentración, pueden tratar de transformar la diversidad y abundancia de las especies presentes en el área con anterioridad a la instalación del arrecife artificial, por ejemplo cuando con un AA se transforma un fondo arenoso-fangoso afectado por vertidos orgánicos en un fondo limpio de sustratos duros donde puede desarrollarse una población de organismos filtradores, por ejemplo moluscos como el mejillón o la ostra, con una alta capacidad de filtración y que además dan lugar a una biota más diversa que la presente antes de la instalación del arrecife artificial (Figura 34).



Figura 34. Superficies del arrecife artificial alveolar de Lloret de Mar a los 9 años de su instalación.

*Arrecifes artificiales mixtos de protección y producción o atracción.*

El término mixto, en este caso, se refiere a las estructuras o módulos arrecifales de protección a los que se les dota adicionalmente de algún elemento de diseño propio de los módulos arrecifales alveolares o de producción y que sin variar su función principal como elementos disuasorios del empleo de determinadas artes o actividades, añade una funcionalidad biológica diferente. Un ejemplo bastante común es el de los módulos de protección antiarrastre contruidos con elementos prefabricados que aumentan su superficie para fijación de organismos un 200 a 400 % sin perder su función principal y optimización de costos. Por tanto, protegen los fondos frente a la pesca de arrastre ilegal, mientras que aumentan la biomasa de los recursos pesqueros en la zona, ya sea por producción o por atracción (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

### **1.7.3.- Arrecifes artificiales destinados a otros usos**

Se incluyen en esta categoría dos tipos de arrecifes artificiales: los arrecifes artificiales con fines turísticos y de ocio y los arrecifes artificiales con fines educativo-científicos. Para lograr sus objetivos, atraer a los submarinistas en el primer caso y realizar estudios científicos en el segundo, estos dos tipos de arrecifes buscan la colonización y el asentamiento de macroinvertebrados bentónicos, que sustenten comunidades ícticas demersales. Por lo tanto pueden tener los mismos diseños y materiales que los arrecifes artificiales de producción o concentración de organismos marinos (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

#### *Arrecifes artificiales con la finalidad de fomentar el buceo recreativo.*

Para el fomento de actividades deportivas y el aumento del turismo. Aquí se incluyen los pecios, que son un gran atractivo para la práctica del submarinismo. Este tipo de arrecifes descargan la presión turística que sufren algunos arrecifes naturales. Los pecios pueden ser estructuras antrópicas abandonadas en el medio marino accidentalmente, o estructuras en desuso deliberadamente hundidas persiguiendo la finalidad turística indicada. Además del hecho de bucear en un lugar de características estructurales singulares, es la observación de la fauna asociada la finalidad fundamental que se pretende, y por lo tanto en general es el efecto de atracción/concentración; ejemplo: estructuras en desuso: barcos, aviones, etc. (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

*Arrecifes artificiales con la finalidad de fomentar la pesca recreativa.*

Fomentan la actividad pesquera recreativa y con ello el aumento del turismo. Aquí se incluye cualquier tipo de estructura de tipo alveolar diseñada al efecto. Este tipo de arrecifes, igual que los anteriores, descargan la presión pesquera recreativa que sufren los arrecifes naturales de las inmediaciones (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

*Arrecifes artificiales para la potencialidad educativa y científica.*

Son arrecifes de producción o concentración destinados al estudio del comportamiento de los ecosistemas, con fines científicos y/o educativos. En ellos se realizan seguimientos de los organismos que colonizan el arrecife mediante diversas técnicas como marcaje, telemetría, observación, técnicas bioacústicas, etc. (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

La clasificación anterior no implica que un arrecife artificial tenga que estar destinado a un único fin; al contrario, la mayoría de arrecifes artificiales suele permitir por lo general, más de una aplicación de entre las aquí descritas, gracias a su multifuncionalidad intrínseca. Sin embargo, existen ciertos arrecifes artificiales diseñados específicamente para el estudio de algún tipo de hábitat u organismo, como son por ejemplo las llamadas estructuras matrix (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

### **1.8.- Clasificación de los arrecifes en función de los materiales utilizados en su construcción.**

La estructura y materiales de un arrecife artificial dependen del objetivo perseguido a la hora de diseñarlo, además de otros factores como son el económico o la disponibilidad de material. Esto no significa que todos los arrecifes pertenecientes a una misma tipología, de las presentadas anteriormente, deban contar con la misma estructura y materiales; al contrario, existen multitud de diseños posibles para alcanzar un mismo fin. Bloques de hormigón de distinta morfología, diques de escollera, cascos de barcos, estructuras sencillas o complejas, ramificadas, de cerámica, de PVC, con mallas, etc., son algunas de las estructuras empleadas como arrecifes artificiales (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

## **II.- Consideraciones previas al establecimiento de un arrecife artificial**

La elección de las zonas apropiadas para fondear las estructuras debe de realizarse tras analizar una serie de factores de tipo batimétrico, físicos, morfológicos, geológicos, ecológicos, pesquero-comerciales, constructivos, etc. (Gayo, 1998).

***Profundidad de la instalación.*** Desde el punto de vista de la ingeniería de costas, la profundidad a la que se sitúe la instalación no deberá interrumpir o alterar los procesos de dinámica litoral, en especial, el transporte de sedimentos. La profundidad idónea estará en función directa de la iluminación de la zona sumergida por la penetración de la luz, turbidez de las aguas, etc., de manera que permitan el desarrollo de organismos sésiles y algas fotófilas en las estructuras de reproducción. Se pueden considerar como profundidades óptimas aquéllas que abarcan hasta la zona final del piso infralitoral entre los 15m y 35m en general, debiéndose estudiar las características batimétricas particulares en cada caso concreto (Gayo, 1998).

***Batimetrías y pendientes de los fondos.*** La batimetría proporciona información adecuada sobre el relieve y las pendientes de los fondos marinos donde se implantará el conjunto de elementos. La pendiente deberá ser mínima para proporcionar la suficiente estabilidad a las estructuras. El relieve de los fondos ayuda a prever posibles pasos o entradas por los que podrían acceder las redes al arrecife, estos serán cubiertos con estructuras de protección que dificulten el acceso (Gayo, 1998).

***Consideraciones geológicas.*** El conocimiento del subsuelo marino y su morfología es fundamental desde el punto de vista del diseño de las estructuras. Es conveniente conocer tanto la capacidad de carga del fondo marino, de los materiales que lo forman, así como los cortes de las placas de los sedimentos existentes, ya que la estructura podría quedar embebida dentro del sedimento (caso de fondos fangosos) o mal colocada, fallando en la función para la cual fue diseñada (Gayo, 1998).

**Transporte de sedimentos.** Es esencial para garantizar que el arrecife artificial no intervendrá negativamente en el transporte litoral y que no quedará colmatado por el sedimento en un tiempo dado, en cuyo caso perdería su funcionalidad. Este tipo de estudio será necesario siempre y cuando el arrecife artificial se quiera fondear dentro de la profundidad de cierre o a pocos metros de ésta y será de detalle (contando con oleaje, tipo de sedimento y corrientes), para aquellos arrecifes que puedan interactuar directamente sobre el transporte sedimentario, caso de los arrecifes artificiales destinados a actuar sobre el medio físico (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

**Geomorfología.** Los fondos influirán tanto en la estabilidad del arrecife, como en sus posibles impactos sobre el medio. Entonces, el conocimiento de la batimetría resulta imprescindible, para determinar el tipo de hábitat que se puede desarrollar en un arrecife y para estudiar los posibles efectos que éste tendrá sobre el medio físico y viceversa (oleaje, transporte de sedimentos, etc.). Cualquier proyecto técnico de instalación de arrecifes artificiales, independientemente de su tipología, deberá por lo tanto incorporar el estudio batimétrico de la zona escogida para el fondeo y su potencial zona de influencia (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

Así mismo, es necesario el conocimiento previo y detallado de la geomorfología del fondo para definir el tipo y tamaño de los elementos estructurales a fondear, las características de la zona sobre la que se realizará dicho fondeo, la posibilidad de aprovechamiento de elementos naturales presentes en la zona y, en última instancia para diseñar el arrecife con la máxima estabilidad (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

En el caso de los arrecifes destinados a la protección frente a las artes ilegales de pesca y a la recuperación de ecosistemas degradados también necesitan una mayor precisión en la definición de la geomorfología previa en el caso de que las comunidades a proteger o a recuperar sean un elemento esencial en la propia morfología del fondo (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

**Calidad de las aguas.** Sirve para evaluar a posteriori, los impactos que el arrecife a instalar pueda tener sobre el medio y para decidir sobre la viabilidad de un arrecife artificial con fines biológicos en una zona determinada, resulta fundamental el estudio de la calidad de las aguas, ya que si se trata de una zona altamente contaminada, difícilmente se lograrán los propósitos del arrecife (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

Dentro del Inventario Ambiental debe incluirse un estudio básico de la calidad de las aguas y debe incorporar la siguiente información sobre la calidad del agua de la zona:

Temperatura, salinidad y turbidez.

Concentración de materias en suspensión (MES).

Concentración de oxígeno disuelto.

Nutrientes inorgánicos disueltos.

Indicadores de contaminación fecal (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008)

**Calidad de los sedimentos.** Es indispensable para analizar si la zona escogida para el fondeo del arrecife resulta adecuada para tal fin o no, así como para prever un hipotético paso de contaminantes al agua durante el fondeo de las estructuras. De cara a evaluar el impacto ambiental de la instalación, se deberá contar con información de detalle sobre de la extensión de las arenas presentes, así como sus características físicas (fundamentalmente granulometría). En aquellos casos en que se sospeche una posible contaminación en el sedimento por su proximidad a vertidos, información anterior, etc. se realizará una caracterización química del mismo, limitada a aquellas sustancias contaminantes cuya presencia se sospeche (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

**Comunidades biológicas.** La caracterización de los ecosistemas marinos de la zona escogida para el emplazamiento de un arrecife, permite determinar el estado



ecológico de la misma, y con ello justificar la necesidad o conveniencia de ciertas tipologías de arrecife. Además, se puede disponer así de un nivel de referencia para evaluar los posibles efectos a corto y largo plazo del arrecife, después de su instalación. Particularmente, para asegurar que un arrecife artificial, de la tipología que sea, será capaz de alcanzar su objetivo, es necesario conocer la distribución y caracterización de las comunidades bentónicas de la zona. Además, esta información resulta también imprescindible para la evaluación de los posibles impactos del arrecife sobre la biota (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

**Medio perceptual.** Es la caracterización del paisaje, entendido éste como la percepción de la escena por parte de los observadores potenciales. Por ello, resulta imprescindible determinar, en primer lugar, las posibles cuencas de visualización, lugares desde los cuales existen observadores potenciales de la escena que se pretende monitorizar. Una vez determinadas todas ellas se estará en disposición de caracterizar, la continuidad visual de la escena, su significado en relación al entorno que la engloba, etc., resultando de todo el proceso la capacidad de acogida que presenta cada una de ellas en relación a los elementos del proyecto a incluir. Lógicamente, este estudio se centrará en la parte superficial del paisaje, en el que se incorporarán elementos antrópicos como las embarcaciones dedicadas al fondeo, o incluso la propia presencia del arrecife si éste corona en superficie. No obstante, respecto a este particular, habrá que prestar especial atención a la dinámica superficial de la lámina de agua y de la línea de costa, la cual puede verse modificada dependiendo de la funcionalidad del arrecife instalado: aumento-disminución del oleaje, zonas de acreción-erosión, etc., (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

Por último no debe olvidarse el paisaje submarino, para el que la metodología más adecuada sería la del estudio de escenarios comparados. Para ello, se realizará un exhaustivo reportaje fotográfico de la zona que albergará el futuro arrecife para luego volver a realizar la operación y obtener las debidas conclusiones (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

**Socioeconomía.** Esta parte del estudio debe incluir, exclusivamente, las implicaciones económicas de los efectos ambientales derivados del fondeo de arrecifes artificiales. Implica identificar y valorar adecuadamente el aprovechamiento económico que se realiza o realizará en la zona de fondeo y las zonas de influencia (protección de zonas de fondeo, creación de playas, etc.). Se centrará en los recursos marinos que se exploten en la actualidad o se hayan explotado en un pasado inmediato y que pueden ser de nuevo explotados para un aprovechamiento futuro. Entre ellos se incluirán bancos de pesca, zonas de cría o engorde, zonas de cultivos marinos, bancos de algas aprovechables, zonas de aprovechamiento para la captura de invertebrados marinos, etc. (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

Estos estudios serán de detalle cuando los arrecifes proyectados estén destinados a interactuar sobre la biota porque producirán modificaciones en la estructura poblacional de determinados recursos. Cuando se trate del proyecto de un arrecife artificial destinado a fines pesqueros, se deberá añadir información detallada sobre el estado de las pesquerías en la zona de emplazamiento del arrecife. Dicha información deberá recoger datos sobre caladeros de pesca, flota pesquera, artes de pesca, volumen de capturas y especies objeto (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

**Infraestructuras.** Será necesario identificar la presencia de infraestructuras submarinas (estructuras y obras de ingeniería civil tales como puertos, conducciones eléctricas o telefónicas sumergidas, antiguos arrecifes artificiales, emisarios submarinos, etc.) en la zona de estudio, en caso de que las hubiera. Cada área deberá de estar perfectamente delimitada y se deberá especificar su tipología. Asimismo, deberá evaluarse la posible afección del arrecife sobre estas infraestructuras (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

**Espacios protegidos.** Todo proyecto técnico de instalación de arrecifes artificiales deberá incorporar información detallada sobre la presencia de áreas protegidas en la zona de estudio o sus inmediaciones, en caso de que las hubiera. En estos casos, cada área deberá estar perfectamente delimitada y se deberá

especificar su figura de protección, así como las comunidades o hábitats que albergan (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

**Aspectos ecológicos previos.** La instalación del arrecife pretende crear un nuevo biótomo introduciendo un sustrato duro que dará lugar a la colonización progresiva de comunidades biológicas diferentes de las que existían inicialmente. Por ello se debe tener en cuenta que la zona de instalación deberá estar lo más alejada posible de zonas rocosas, los mejores fondos serán los de sedimentos no consolidados. Es fundamental que en la zona de fondeo existan aportes de nutrientes abundantes y no se localicen emisarios submarinos en las proximidades (Gayo, 1998). Muchas áreas del fondo marino se caracterizan por ser llanas y estar cubiertas de arena, fango o plantas. En estos lugares se ven muy pocos peces, y eso se debe a la falta de sitios donde resguardarse (Silva-Lee, 1984).

El estudio del efecto de concentración es muy importante, pues el arrecife puede actuar como un elemento de concentración de las especies de la zona en puntos concretos, con la consiguiente disminución de la pesca en los caladeros tradicionales cercanos. Se deberán realizar levantamientos de cartografía biológica, distribución de comunidades y tipos de fondos, encaminados a la descripción del estado actual del sistema en fondos, (comunidades naturales y recursos pesqueros explotables), identificando las diferentes comunidades y valorando ecológicamente las mismas, así como la capacidad de explotación de los bancos naturales existentes en las zonas del Estudio (Gayo, 1998).

### III. Descripción de las obras

La ingeniería de costas es una rama especializada de la ingeniería que está integrada por muchas ciencias físicas y disciplinas que tienen aplicación en las áreas costeras. Está toma en cuenta los cambios inducidos en el medio ambiente marítimo-costero tanto por la naturaleza como por el hombre y nos da los medios para diseñar las obras necesarias para protegerla de esos cambios (Macdonel-Martínez, *et al.*, 2009) o de un posible deterioro ambiental.

Es muy importante considerar los aspectos relativos al impacto ambiental que cualquier obra produce sobre el medio ambiente, en particular sobre el mar que es una fuente importantísima de vida que debemos preservar (Macdonel-Martínez, *et al.*, 2009). Entonces, para proyectos de hundimiento de estructuras con fines arrecifales debe considerarse estudios detallados de la zona donde se pretende realizar el proyecto ya que cada lugar es diferente en sus condiciones geográficas, demográfica, económicas, políticas, sociales, económicas, naturales, etc.; así como un estudio de las características de la estructura a sumergir que sean acordes con el lugar seleccionado y acordes con el proyecto planteado.

Cualquier proyecto técnico para la instalación de arrecifes artificiales debe seguir una serie de pasos e incluir varios estudios que permitan justificar la necesidad y/o viabilidad del mismo. Todo proyecto de arrecife artificial debe responder a la existencia real de una necesidad determinada que lo justifique, si bien, es frecuente que a ese objetivo principal para el que se proyecta, puedan sumársele otros objetivos secundarios que darían un valor añadido. Esto hace posible el planteamiento de diseños multipropósito que aúnen varios objetivos. Por tanto, para la instalación de cualquier tipo de arrecife artificial resulta imprescindible una justificación adecuada de la necesidad o conveniencia del proyecto (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

El objetivo perseguido por el arrecife artificial deberá tratar de explicar el lugar escogido para su emplazamiento. En el caso de los arrecifes cuya finalidad sea la producción, concentración o atracción con fines pesqueros, su promoción debe

justificarse en base a un análisis de las poblaciones de las especies pesqueras que se pretenden mejorar, tanto desde la perspectiva biológica como pesquera (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

Otro factor que influye de manera determinante en el buen funcionamiento de un arrecife artificial es su emplazamiento (profundidad, distancia a la costa, actividad pesquera, etc.). Resulta imprescindible incluir en todo proyecto un plano a escala adecuada de la zona escogida para la ubicación del arrecife, indicando, además del lugar exacto de colocación, la siguiente información:

- Batimetría
- Zonas de acceso más cercanas, como rampas marinas o puertos
- Presencia de otros arrecifes artificiales
- Presencia de emisarios submarinos u otras infraestructuras marinas
- Presencia de zonas protegidas por cualquier tipo de legislación
- Presencia de especies y hábitats protegidos por cualquier legislación

Dentro de la descripción del proyecto deberán incluirse también los métodos de construcción e instalación del arrecife. Será necesario describir con precisión los detalles previstos para el hundimiento, la colocación y el anclaje de la estructura. Si se trata de estructuras ya construidas, como en el caso de los barcos, deberá detallarse además, el proceso de descontaminación y acondicionamiento de las mismas para su uso como arrecife artificial. Finalmente, el proyecto deberá recoger una estimación de la vida útil del arrecife artificial, así como un análisis de costos-beneficios, tanto desde el punto de vista socio-económico como ambiental. La autorización de instalación de un arrecife artificial dependerá de que este análisis tenga como resultado un beneficio neto (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

El ingeniero especializado en este tipo de trabajos deberá comprender las razones por las cuales en otros lugares se utilizaron determinados procedimientos, en función del conjunto de conceptos que intervinieron y, aplicar con criterio las experiencias obtenidas en caso particular (Herrejón-de la Torre, 1982)

### **3.1.- Proceso constructivo**

En las últimas décadas, se ha obtenido un progreso sorprendente en el proyecto de las obras marítimas. Esto ocurre como consecuencia del gran número de investigaciones que se han hecho acerca del comportamiento de los materiales de construcción, suelos, agua, etc. No obstante, en cada problema de este tipo intervienen varios aspectos de la ingeniería con estudios bastantes amplios. Además, cada caso es diferente, por esta razón no se ha logrado una normalización de los métodos que deben seguirse (Macdonel-Martínez, *et al*, 2009).

El análisis y el diseño de una estructura marítima siguen esencialmente los mismos conceptos aplicables a cualquier otro tipo de estructura, con especificaciones concretas respecto al tipo de cargas que debe soportar y a las condiciones de seguridad con que debe operar (Herrejón-de la Torre, 1982). Lo principal y esencial en todos los proyectos, es obtener hechos relevantes y apreciar su significado. Estos serán clasificados y su relación valuada. En esta forma, los valores respectivos pueden razonablemente proporcionarse (Macdonel-Martínez, *et.al*, 2009).

Entonces, el proceso de construcción de este tipo de obras consta de tres fases, bien diferenciadas:

- 3.1.1.- Construcción de los elementos
- 3.1.2.- Transporte por tierra y mar
- 3.1.3.- Instalación y fondeo

### 3.1.1.- Construcción de los elementos

Para la construcción de las estructuras existen dos alternativas:

- La construcción prefabricada o;
- La ejecución directa en el puerto.

En la construcción prefabricada hay que tener en cuenta la localización de la fábrica: lo más cercana posible al puerto de embarque; además, es conveniente realizar una valoración económica comparativa del transporte de los elementos prefabricados a puerto frente a la construcción en éste. Si se opta por la construcción de las estructuras directamente en una zona portuaria, será conveniente estudiar algunos aspectos como:

- La superficie total disponible en la zona será lo suficientemente amplia para permitir todos los procesos de elaboración y montaje de las estructuras.
- La distribución del área portuaria en zonas de acopio de materiales, construcción de elementos, ensamblaje y montaje, elementos totalmente terminados, etc.
- Hay que tener en cuenta que los elementos, después de fabricados, deberán permanecer acopiados, al menos, 28 días.
- Prever y estudiar la viabilidad del área portuaria, dejando calles, rotondas, etc., entre las distintas zonas de trabajo, de modo que permitan las operaciones de carga y maniobras de la maquinaria.
- Los muelles de embarque se elegirán en función de las características del buque y la carga a transportar.
- Estudiar los medios auxiliares disponibles en el puerto, así como los sistemas más apropiados de carga para cada tipo de estructura.
- La situación del puerto respecto de los puntos de fondeo se estudiará para minimizar los tiempos de transporte marítimo.
- Estudiar las facilidades que ofrezca el puerto en cuestiones administrativas como tarifas, trámites, permisos, etc. (Gayo, 1998).

### **3.1.2. Transporte marítimo**

La elección del medio de transporte marítimo está en función de la envergadura del proyecto, esto es, del número de estructuras proyectadas. Sin embargo, en general se sugiere el uso de buques cargueros de pequeño tonelaje: aproximadamente entre 1.500 - 5.000 tpm<sup>3</sup>, que equivale a la suma de los pesos del combustible y carga (Gayo, 1998).

Las características exigidas o más apropiadas para este tipo de embarcaciones son las siguientes:

Puntales: en general los barcos destinados a la carga están provistos de estos medios de izada, permitiendo las operaciones de carga y descarga en puertos y muelles en los que no existen grúas de muelle. Los puntales trabajan según la relación entre la capacidad de carga de los mismos y el peso de la unidad de carga, con lo que serán exigibles puntales entre 10-15 t para la correcta ejecución de los procesos de carga. Actualmente, gran cantidad de buques poseen medios de carga de a bordo, es decir, grúas de barco: pórtico, telescópicas, en ménsula, etc. (Gayo, 1998).

Bodegas de carga corridas: o sea, no compartimentadas, que aumentan la facilidad operativa, permitiendo una mejor disposición de los módulos arrecifales, así como la barrida en planta y elevación-descenso desde las grúas o puntales (Gayo, 1998).

Pequeño calado: facilita la maniobrabilidad en el fondeo de las estructuras, así como los movimientos dentro del puerto, favoreciendo la entrada en puerto y economizando tarifas de atraque en muelles de menor calado (Gayo, 1998).

Las dimensiones aconsejables de los buques para este tipo de obras serían:

Eslora: 70–125 m

Manga: 12–18 m

Calado: 4–7 m



### **3.1.3. Instalación y fondeo**

Antes de iniciar el fondeo es necesario realizar un replanteo, entendiendo éste como el conjunto de operaciones a realizar, encaminadas al correcto emplazamiento de los módulos en el fondeo. En el fondeo de los módulos se exigirá la máxima precisión posible en la instalación, por lo que se recomienda el uso de un sistema de posicionamiento global mediante satélites PS GLOBAL POSITIONING SYSTEM (Gayo, 1998).

Para corregir los errores producidos por fenómenos como: la inestabilidad de los relojes de los satélites, errores en las efemérides y en las órbitas, retrasos en la ionosfera y troposfera, multicaminos, ruidos, etc., se utilizará el Sistema Diferencial, consistente en el uso de dos equipos, uno en el barco y otro en tierra, ubicando, este último, en una base de coordenadas conocidas. Es conveniente el empleo de dos equipos de posicionamiento: uno, en el buque de carga y otro, en una embarcación auxiliar de apoyo. Con las comprobaciones precisas permite alcanzar precisiones de 2 m. Tras el fondeo de cada módulo es conveniente realizar un balizamiento provisional de éstos, el cual permitirá tomar su posición real (Gayo, 1998).

Una vez realizado el replanteo previo, se balizará el núcleo central, depositando las piezas a su alrededor. Para ello el barco deberá anclar en varios sitios, hasta coger la posición (Gayo, 1998).

Se deberá tener precaución con el oleaje y las corrientes, los trabajos de montaje e instalación se suspenderán cuando la altura de ola sobrepase un límite (en general  $H = 1$  m) tras el cual pueden existir riesgos de peligro ante el balanceo de las piezas, posibles golpes de las piezas con el buque e imposibilidad de guiado en el descenso. Las corrientes de fondo pueden desplazar los módulos, perdiendo el posicionamiento correcto, aun cuando en la superficie el buque se encuentre en la posición correcta (Gayo, 1998).

El fondeo se realiza generalmente por dos sistemas diferentes:

- Caída libre desde la superficie.
- Descenso con cable y guiado por buceadores

En el sistema de caída libre, recientemente utilizado, el buque, por medio de sus sistemas de carga eleva, el módulo y lo deposita en la superficie del mar, se suelta con un dispositivo de ganchos de disparo simultáneo, fondeándose el elemento por su propio peso. Si se opta por utilizar este sistema se deberán calcular las solicitaciones a que estará sometida la estructura al recibir el impacto sobre el fondo marino (Gayo, 1998).

En el sistema de descenso guiado por buceadores, se conjunta el fondeo con cable por medio de la ayuda de hombres rana. El buzo mediante un sistema de comunicación permanente con el barco, lo dirige, realiza los ajustes finales de las piezas y el desenganche definitivo. En caso de no ajustar o situar en un lugar incorrecto los módulos, debido a corrientes marinas o movimientos incontrolados del barco se utilizan globos de levantamiento que reducen el peso de las estructuras, permitiendo su colocación (Gayo, 1998).

Entre los dos sistemas de fondeo existen una serie de ventajas e inconvenientes que inciden en la decisión final a adoptar para su instalación. El sistema de caída libre reduce riesgos generados por la permanencia de hombres en el fondo marino mientras se manejan las estructuras; el rendimiento en la colocación aumenta, reduciendo el tiempo de instalación; se reducen costos de conservación y mantenimiento de los sistemas de izado: cables, ganchos y demás dispositivos en contacto con el agua marina (Gayo, 1998).

Aunque el sistema de descenso con ayuda de buceadores resulta imprescindible cuando se trata de estructuras que ensamblan entre sí o requieren un ajuste con mayor precisión, el uso de los dos sistemas combinados parece ser la mejor solución, colocando los módulos de protección mediante caída libre y los módulos de producción con la ayuda de buzos (Gayo, 1998).

### **3.2.- Seguimiento biológico**

La creación de arrecifes artificiales en el medio marino ha dado lugar a controversia por las posibles repercusiones ambientales sobre el medio marino. En este sentido, los estudios de Evaluación de Impacto Ambiental pueden servir para aclarar las dudas que existen. La construcción de arrecifes artificiales, ecológicamente, representa la aparición de nuevos ecotopos, con la consiguiente modificación de la composición y estructura de los ecosistemas presentes (Gayo, 1998).

En el caso de arrecifes de reproducción y protección, parecen evidentes los cambios que en los ecotopos se van a producir, primero un aumento de la biodiversidad (aumento en la riqueza y proporción relativa de las diferentes especies de una biocenosis); después, cambios relativos a la estructura y función de los ecosistemas marinos, favoreciéndose la sucesión ecológica hacia ecosistemas más maduros, caracterizados por un aumento de la biomasa así como de las relaciones entre los distintos elementos de este sistema ecológico (Gayo, 1998).

Así pues, la presencia de estos arrecifes produce impactos positivos, continuos e irreversibles sobre los fondos marinos. Los planes de vigilancia ambiental sobre estas obras públicas, pueden ser, en el futuro, una solución que aclare esta cuestión al constituirse en nuevas fuentes de datos sobre la evolución de los fondos marinos (Gayo, 1998).

## **IV.- Criterio de valoración de materiales para crear arrecifes artificiales**

### **4.1.- Los materiales**

La parte más importante en la planificación de los arrecifes es el diseño. Sin embargo, también los materiales son fundamentales para que un arrecife artificial cumpla con sus objetivos. El diseño representa la parte del proceso de planificación que determina la composición, disposición y localización de los materiales que se usarán como arrecifes para llevar a cabo el propósito establecido, y va de acuerdo con conceptos técnicamente válidos y métodos relacionados a la construcción, financiación y consideraciones ambientales (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

La estructura y materiales de un arrecife artificial suelen depender principalmente del objetivo perseguido a la hora de diseñarlo, además de otros factores como son el económico o la disponibilidad de material. Esto no significa que todos los arrecifes pertenecientes a una misma tipología deban contar con la misma estructura y materiales; al contrario, existen multitud de diseños posibles para alcanzar un mismo fin. Bloques de hormigón de distinta morfología, diques de escollera, cascos de barcos en desuso, estructuras sencillas o complejas, ramificadas, de cerámica, de PVC, con mallas, etc., son algunas de las estructuras empleadas como arrecifes artificiales, aunque algunas como los neumáticos se han mostrado claramente inadecuadas, debiendo ser descartado su uso en el futuro bajo cualquier supuesto (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

### **4.2.- Consideración en el diseño de un arrecife artificial**

Las estructuras diseñadas han de resultar fáciles de adquirir o fabricar, y su manipulación, transporte y fondeo, deben ser seguros y rentables. Se tienen que diseñar pensando en los objetivos a los que van destinados. Un buen diseño de los elementos para un arrecife artificial incluye que la forma sea tal que atraiga vida animal, que promueva que algas, peces, moluscos, corales etc. se establezcan con rapidez en su superficie y entorno. Al cabo de un tiempo los elementos recién colocados deben integrarse al medio mimetizándose con él al

cubrirse con algas, corales y al ser rodeados de peces y vida marina en general (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

En el caso de arrecifes en contacto con nadadores también es importante que se parezca lo más posible a la naturaleza y que el bañista no se encuentre con elementos de formas definidas y simétricas que le permitan percibir a primera vista lo artificial del arrecife. Cuando un arrecife artificial se forma con elementos geométricos, las aristas muy definidas, puntas, huecos regulares en forma y tamaño, si bien funcionan como atractivo de vida marina, también provocan rechazo visual a los turistas pues no parecen naturales e incluso pueden resultar peligrosos (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

Debe tenerse presente que las estructuras de los arrecifes son desarrolladas para encontrar los requerimientos biológicos de las especies objetivo y de las condiciones del fondo, de ahí que su capacidad de captación y fijación de organismos sea de tomar en cuenta. También los métodos de pesca son un factor importante a considerar en el diseño de los arrecifes artificiales (Semarnat, 2005).

El aspecto socio-cultural es otro factor, donde se trata de ponderar factores como artes tradicionales de pesca, grupos generacionales que participan de la pesca, tipo de equipamiento del que dispone la población beneficiada, seguridad, etc. (Semarnat, 2005).

Así mismo, el factor de eficiencia en cuanto a la capacidad de generación de resultados que propicien una certeza en su aportación al incremento de la biomasa, lo que da alta relevancia a antecedentes de investigación y desarrollo del tipo de arrecife a seleccionar (Semarnat, 2005).

#### **4.3.- Consideración de costos**

El costo de los arrecifes artificiales es elevado, pues aparte de lo que cuestan los refugios individuales, hay que llevarlos hasta la zona de embarque, cargarlos a bordo de un barco y transportarlos hasta el lugar de la inmersión. Es conveniente

sujetar los arrecifes con cables, para evitar que se dispersen o rueden, labor que ha de ser llevada por buzos. El uso de puntos de anclaje, grúas y remolques son gastos que se hacen subir rápidamente el precio original, y a su vez colocado el arrecife son necesarias boyas de navegación que marquen la zona. Los numerosos gastos asociados con la instalación y mantenimiento de estas boyas hacen aumentar más todavía el costo de los arrecifes artificiales (Puerta, 1982).

Es importante contemplar factores de aspecto económico en la construcción y establecimiento de un arrecife artificial, por ejemplo, a que empresas especializadas en materiales se le asignará la tarea, métodos de hundimiento, distancia del puerto base (para remolque y hundimiento); distancia de la costa y turbidez; etc. (Semarnat, 2005).

Los arrecifes artificiales pueden estar constituidos por materiales naturales, reciclables, o bien pueden ser estructuras prefabricadas. La combinación de varios materiales puede aportar mayor variedad tanto para las comunidades biológicas como para los usuarios. Se trata de intentar llevar a cabo un proyecto eficaz, con el menor costo ambiental y económico posible, teniendo en cuenta la preparación, el transporte, la colocación y el mantenimiento de la estructura. Una ventaja de los materiales reciclables es su mayor disponibilidad. En el mundo se han utilizado todo tipo de materiales de segunda mano, desde barcos y otros vehículos hasta plataformas petrolíferas, escombros de la construcción, productos de desecho del hormigón, neumáticos y cenizas y fangos fijados con cemento. El hecho de crear un arrecife artificial con este tipo de estructuras es simplemente una forma de utilizarlas de manera productiva, en lugar de terminar llevándolas a vertederos. Sin embargo, numerosos estudios han revelado que algunos materiales de segunda mano no son adecuados para su uso como arrecifes artificiales, como son la fibra de vidrio, el plástico, neumáticos, cuerpos de vehículos ligeros, barcos de fibra de vidrio y moldes de barcos, vagones y artefactos de chatarra metálica de bajo peso como frigoríficos, lavadoras o secadoras, que siempre dan problemas. Estos materiales no deben utilizarse en ningún caso como arrecifes artificiales (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

Las estructuras de arrecifes prefabricadas presentan la gran ventaja de poder ser construidas con las características deseadas de un sustrato para un propósito específico. Aunque el costo de construcción de estas estructuras sea mayor que el de los materiales de segunda mano y naturales, puede quedar compensado por los costos de preparación y acondicionamiento de estos últimos para su uso como arrecifes artificiales. Las estructuras prefabricadas pueden ser construidas con diferentes materiales. El hormigón, uno de los materiales más usados, resulta muy favorable puesto que se trata de un material que no se degrada, moldeable, estable, cuyo pH puede ser neutro, y cuya textura puede ser comparable a la de los arrecifes naturales. El PVC y otros plásticos en cambio, a pesar de ser también moldeables, no degradables y de fácil transporte, tienen poca estabilidad debido a su ligereza y su textura suele ser demasiado lisa (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

El seguimiento de varios arrecifes artificiales ha permitido determinar una serie de ventajas e inconvenientes asociados a distintos tipos de materiales o estructuras, que se citan a continuación:

#### **a) Hormigón**

- Ventajas
  - ✓ Los materiales de hormigón son perfectamente compatibles con el medioambiente marino.
  - ✓ El hormigón es altamente duradero, estable y fácilmente disponible.
  - ✓ La flexibilidad a la hora de moldear el hormigón en una gran variedad de formas lo convierte en un material ideal para el desarrollo de unidades prefabricadas.
  - ✓ El hormigón proporciona unas superficies y hábitat adecuados para la colonización y el crecimiento de organismos incrustantes, que a su vez proporcionan sustrato y refugio para otros invertebrados y peces (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

- Desventajas
  - ✓ Un gran inconveniente del uso del hormigón en la fabricación de arrecifes artificiales es su alto peso, y la consecuente necesidad de equipamientos pesados para poder manipularlo. Esto incrementa los costos tanto de transporte terrestre como marino.
  - ✓ El despliegue de grandes piezas de hormigón o de unidades prefabricadas requiere el empleo de equipamiento pesado en el mar, lo que no sólo es costoso sino que además supone cierto peligro. Otro inconveniente relacionado con el alto peso del hormigón es su posibilidad de hundimiento en el sedimento marino (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

## **b) Madera**

- Ventajas
  - ✓ Se trata de un material muy fácilmente disponible en cualquier zona.
  - ✓ Una de las ventajas de usar madera como arrecife artificial es su disponibilidad.
  - ✓ Shinn y Wichlund (1989) descubrieron que los teredos (moluscos bivalvos perforadores de la madera), al excavar sus túneles en la madera, aumentan la complejidad de los hábitats y proporcionan espacio para otros organismos que serán presas de los peces.
  - ✓ También observaron que las grandes cantidades de alimento y la compleja estructura proporcionada por el deterioro de los arrecifes de madera, atraen grandes concentraciones de peces. Se ha visto incluso algún caso en el que el arrecife artificial se hallaba localizado en aguas más profundas y frías de las que suelen habitar muchas de las especies asentadas en él. Cabe destacar aquí que Shinn y Wichlund (1989). Llegaron a estas conclusiones tras examinar arrecifes formados por barcos de madera (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).



- Desventajas
- ✓ La madera presenta generalmente una vida corta en ambientes marinos, debido a su rápido deterioro por microorganismos y organismos perforadores. Al deteriorarse la estructura del arrecife, algunas piezas pueden romperse y salir a flote de la zona de emplazamiento del arrecife, originando interferencias con otros usos legítimos del mar (navegación, utilización de playas para el baño, etc.).
- ✓ La madera es un material muy ligero y debe por tanto ser lastrado inicialmente para asegurar su correcto hundimiento y su permanencia en el lugar de emplazamiento.
- ✓ La madera procesada, utilizada para muchos fines constructivos, suele ser tratada para evitar que se pudra, de forma que puede contener compuestos tóxicos para los organismos marinos (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

### **c) Rocas**

- Ventajas
- ✓ La roca caliza está constituida de carbonato cálcico, componente mayoritario de muchos arrecifes naturales y totalmente compatibles con el medioambiente.
- ✓ La roca de cantera es un material muy denso, estable y duradero, con una baja probabilidad de desplazarse fuera del lugar de emplazamiento del arrecife.
- ✓ Las rocas de cantera son un buen atrayente para los peces y proporcionan una buena superficie para los organismos bentónicos incrustantes.
- ✓ Diferentes tamaños de partículas de roca pueden ser utilizados para acomodar diferentes etapas de la vida de las especies de interés.

- ✓ Ocasionalmente puede darse el caso de que un dragado portuario se realice sobre fondos de roca, constituyendo una fuente adecuada de materiales para la construcción de arrecifes artificiales. En tales ocasiones, para tal utilización, el material dragado en roca deberá previamente separarse de cualquier otro material dragado sobre fondos blandos (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).
- Desventajas
  - ✓ Las rocas de cantera no son un material que se suele ceder (como ocurre por ejemplo con los barcos en desuso) de manera que se tendrá que asumir un costo inicial.
  - ✓ Los costos de transporte y colocación del arrecife artificial son elevados y requieren la utilización de equipamiento pesado (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

#### **d) Electrodeposición**

- Ventajas
  - ✓ Se trata de un método de bajo impacto sobre el medio.
  - ✓ La operativa de su instalación presenta ventajas logísticas.
  - ✓ Su versatilidad permite crear estructuras submarinas de cualquier tamaño y forma.
  - ✓ Las estructuras se sueldan al arrecife natural integrándose rápidamente con éste.
  - ✓ El campo eléctrico atrae a la fauna marina y fomenta el crecimiento simbiótico del coral y las algas.
  - ✓ Permiten crear arrecifes de coral significativos en cortos periodos de tiempo (1 año).
- Desventajas
  - ✓ Su costo puede llegar a ser muy elevado en determinadas zonas.

- ✓ El requerimiento de suministro eléctrico obliga a descartar ciertos emplazamientos.
- ✓ Su consistencia lo inhabilita para determinados usos como el de protección (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

#### **e) Materiales reciclados inertes**

- Ventajas
  - ✓ Su costo económico es mucho menor, llegando incluso a poder ser sufragada parte de la inversión global del arrecife por la vía del costo de gestión de los residuos que debe asumir su poseedor.
  - ✓ La investigación y desarrollo de nuevos productos a partir de materiales reciclados (fundamental aunque no únicamente residuos de demolición), permite una amplia gama de opciones.
  - ✓ Los materiales reciclados de origen biológico y marino, como los conglomerados de conchas de bivalvos son perfectamente asimilados por el medio, permitiendo complementariamente gestionar un residuo de forma eficaz.
  
- Desventajas
  - ✓ En todos los casos en que se pretenda usar materiales reciclados hay que garantizar el carácter inerte del mismo, algo que en muchas ocasiones no es factible.
  - ✓ Ciertos materiales reciclados, aun siendo inertes, se han mostrado inadecuados para la fijación de organismos, es el caso de neumáticos, fibra de vidrio, plásticos, etc.
  - ✓ Su utilización como una forma de gestión barata de ciertos residuos, puede despertar intereses económicos que desvirtúen los propósitos reales que es necesario exigir a todo proyecto de arrecife artificial.
  - ✓ Posible alto costo de acondicionamiento y descontaminación (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008).

## f) Barcos

- Ventajas
  - ✓ Los barcos proporcionan estructuras complejas y zonas interesantes para el submarinismo, ya sea de recreo o técnico. Se suelen utilizar también como lugares de pesca recreativa.
  - ✓ Los barcos utilizados como arrecifes artificiales, ya sea por sí solos o en conjunto con otros tipos de arrecifes artificiales, pueden contribuir de manera considerable a la economía de la zona.
  - ✓ Los cascos de acero de los barcos presentan una contundente integridad, por lo que se les considera material de arrecife artificial duradero siempre y cuando se sitúen a las profundidades y orientaciones adecuadas para asegurar su estabilidad en casos de temporales extremos.
  - ✓ La reutilización de grandes barcos de casco de acero como arrecifes artificiales puede resultar más económica que su desguace.
  - ✓ Debido a su alto perfil vertical, los barcos son capaces de atraer tanto a especies pelágicas como demersales. Las superficies verticales producen afloramientos y alteraciones de velocidad y dirección de las corrientes que suponen un atractivo más para ciertas especies.
  - ✓ Bajo ciertas condiciones, los barcos pueden proporcionar zonas de desove para algunas especies de arrecife.
  - ✓ Al tratarse de un atractivo turístico para buceadores y pescadores deportivos, los barcos hundidos contribuyen a disminuir la presión existente sobre algunos arrecifes naturales, y a disminuir así los daños causados por las anclas de las embarcaciones, además de otros daños físicos.
- Desventajas
  - ✓ La duración de los barcos como arrecifes artificiales puede verse comprometida por las operaciones de limpieza y recuperación así como por los explosivos que en ocasiones se utilizan para su hundimiento.

- ✓ Asegurar la estabilidad del barco en casos de temporales extremos puede ser complicado puesto que ésta depende de la combinación de varios factores como son la profundidad de instalación, la extensión de la superficie del barco expuesta a la energía del oleaje, la orientación del barco, la altura de ola, las fuerzas de fricción, el peso del barco, el perfil vertical y las corrientes generadas por el temporal.
- ✓ En caso de daños producidos por temporales, la pérdida de la integridad de la estructura puede incrementar los riesgos para los buceadores (desorientación o daños físicos por cortes o enganches), así como para el medio ambiente, derivados de la desintegración y dispersión de partes del buque.
- ✓ Los barcos pueden contener una serie de contaminantes, incluidos PCB.s, materiales radiactivos, hidrocarburos, plomo, mercurio, zinc y algunos aislantes, cuya eliminación resulta dificultosa y bastante costosa. El costo incrementará con el tamaño del barco, el número de compartimentos y espacios y la complejidad de la estructura. Otros materiales pueden ser más limpios que los barcos y menos problemáticos en cuanto a seguridad y manipulación, además de cumplir con los mismos objetivos recreativos de una forma más económica.
- ✓ Generalmente los barcos ofrecen proporcionalmente menos refugios para especies demersales e invertebrados que otras estructuras y materiales de volumen total comparable. Esto se debe al propio material y a la falta o escasez de agujeros y hendiduras en el casco y la cubierta. La utilidad de los barcos como zonas de cría para la producción de peces e invertebrados queda por tanto reducida por la falta de zonas de refugio. Además, las partes interiores de los barcos no suelen ser utilizadas por peces y macroinvertebrados a menos que el casco se modifique considerablemente para permitir el acceso, la circulación del agua y la penetración de la luz (Myatt y Myatt, 1992).

- ✓ El uso de barcos como arrecifes artificiales puede provocar conflictos entre buceadores y pescadores (Myatt y Myatt, 1992). Aunque pueda suceder lo mismo en los arrecifes naturales, generalmente existe cierta preferencia por los pecios por parte de los buceadores.
- ✓ La superficie del casco de acero no es una superficie tan ideal para la colonización del epibentos como son las rocas o el hormigón. Además, la corrosión del acero puede resultar en una pérdida de organismos del epibentos.
- ✓ Al contrario de lo que ocurre con los módulos arrecifales individuales, una vez hundido un barco de grandes dimensiones resultará difícil y costoso moverlo en caso de que no haya quedado correctamente colocado, o en caso de que, en un futuro, se tenga que retirar o desplazar por la necesidad de algún otro uso del fondo.
- ✓ El perfil vertical elevado de los barcos puede hacerlos más propensos al movimiento y/o al deterioro estructural debidos a las corrientes y oleajes generados en condiciones de temporal.
- ✓ Los barcos, especialmente los que se encuentren muy deteriorados, presentan un mayor riesgo de hundirse fuera del lugar de emplazamiento mientras se remolcan (ya sea al lugar de limpieza o de fondeo), que el que presentan otros materiales arrecifales durante su transporte.
- ✓ Los barcos pueden tener un valor alternativo como fuentes de acero reciclable.
- ✓ La utilización de explosivos para hundir barcos (especialmente cuando resulta precisa su utilización en grandes cantidades), puede causar daños estructurales, esparcir desechos, provocar problemas puntuales de contaminación atmosférica, y suponer un cierto riesgo para la vida marina.
- ✓ Existen normas internacionales sobre la materia que en muchos casos se han elaborado con el criterio de garantizar un hundimiento seguro y medioambientalmente aceptable del barco, no con el de crear un

arrecife artificial, por lo tanto sólo establecen unas condiciones mínimas, cuya mera observación no es suficiente para garantizar la idoneidad y viabilidad del arrecife.

#### **4.4.- Criterios de selección de materiales**

Se deben considerar los siguientes criterios para la selección del tipo de materiales en el arrecife artificial a emplear (Semarnat, 2005).

- Disponibilidad
- Durabilidad
- Hidrodinámica
- Toxicidad
- Seguridad para la calidad de agua marina
- Uniformidad de la calidad del material
- Eficiencia económica
- No generar desperdicios
- Tener bajos valores de ingredientes disueltos tóxicos
- Facilidad de colocación
- Facilidad de colonización
- Resistencia al oleaje
- Costos en producción
- Costos en transportación
- Costos de ejecución de la obra
- Facilidad de logística
- Mano de obra especializada
- Profundidad
- Contaminación
- Capacidad de colonización de organismos
- Capacidad de protección

- Empleos directos e indirectos

Con base en lo anterior y después del análisis de los diferentes tipos de estructura y los materiales a emplear, se sugiere que la opción más factible es la tipo Reef Ball, por su mejor diseño, sirve para diferentes propósitos y el costo se compensa con su durabilidad, resistencia y utilidad.



## VII.- DISCUSIÓN

Este trabajo es una investigación documental donde se analizan los diferentes materiales empleados para construir arrecifes artificiales; su diseño y función en la restauración y protección. Concentrando la información de los materiales empleados y los procesos más factibles a considerar cuando se restaura un área. En España, (Gayo, 1998) analizó diversos diseños de estructuras arrecifales y determinó que las formas hidrodinámicas elaboradas con concreto y con acero de refuerzo eran mejores en comparación con elementos de oportunidad. Sin embargo, aquí se ha encontrado que existen otras tecnologías más nuevas, como el concreto sin acero de refuerzo, más durable y de menor costo, cuyo volumen y peso facilita y hace menos compleja su transportación, hundimiento y colocación, como es el caso que propone (Reef ball fundación, 2007).

El hundimiento deliberado de objetos en el mar sirve para múltiples propósitos, de acuerdo a (Del Río, 2008) y al Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de España (2008. Ésta acción deliberada del hombre tiene como objetivo principal deshacerse de los materiales, dándoles a la vez, una nueva oportunidad de reutilización. Desde la creación de hábitats que pudieran aumentar los recursos pesqueros y/o defender la costa frente a la acción erosiva del mar. El análisis en este trabajo respalda las propuestas anteriores, pero tomando en cuenta se deben realizar previamente los estudios en cuanto a calidad y estricta vigilancia durante el proceso de planeación, instalación y seguimiento.

Los materiales ideales para construir los arrecifes, de acuerdo a esta investigación, son principalmente los de concreto u hormigón, pues permite manipularlo y moldearlo a placer, además de ser muy durable. Esto coincide con lo mencionado por (González, 2013), que menciona que Las construcciones de concreto actúan como una barrera contra el oleaje de grandes dimensiones, generando además seguridad y la confianza a los organismos y a las costas. Sin embargo, esto también depende de la función que se le va a dar al arrecife artificial que se genere.

La instalación de estructuras que protejan los ecosistemas sensibles frente a prácticas pesqueras agresivas, como el arrastre ha generado excelentes resultados de acuerdo con lo propuesto por (Gayo, 1998), quien presenta estructuras bastante sólidas con diferentes diseños y propósitos, eficientes incluso ante embarcaciones pesqueras de gran calado. Durante esta revisión se encontró que existen otros materiales y diseños para este mismo fin. Por ejemplo las de cerámica ramificadas o ecoreef, que evitan el arrastre de redes de pesca (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2008). Estas estructuras tienen un sistema de anclaje y fondeo con una técnica diferente que reduce costos, desperdicio de materiales y facilita más su transporte, hundimiento y colocación, pues no requiere de equipos especiales como las de concreto antes mencionadas.

El análisis en este trabajo integra las propuestas de varios autores. Sin embargo, el empleo de cada una de las estructuras, materiales y diseños de diferentes proyectos depende de las condiciones del lugar. Para generar resultados óptimos se debe tomar en cuenta cada una de las características propias de la estructura. Por ejemplo, en el caso de la ecoreef, se pueden utilizar en lugares de poca profundidad o en arrecifes erosionados o devastados por condiciones ambientales, pues permite su colocación, cumpliendo su función con embarcaciones pequeñas de pesca de motor fuera de borda.

El análisis de las técnicas y materiales para construir arrecifes y de acuerdo con (Coello, 2013), otra alternativa es la electrodeposición, esta técnica implica una visión diferente a otras empleadas para poder diseñar arrecifes artificiales en corto tiempo (Convenio de Londres y Protocolo/PNUMA, 1972; Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de España, 2008; Coello, 2013). Sin embargo, durante la realización de este trabajo de investigación, se encontró poca información sobre esta técnica por ser poco usual. Pues al proponer la creación de arrecifes artificiales, se deben considerar los cuestionamientos que generan la controversia de aceptación o el rechazo de estas prácticas. Sin embargo, la mayoría de los autores dan un punto de vista positivo para la realización de un proyecto de este tipo. La presente investigación da a conocer que diferentes arrecifes artificiales,

con diferentes propósitos, técnicas y materiales para condiciones particulares o proyectos específicos pueden ser utilizados, pero siguen generando una gran incertidumbre por la falta de soporte científico que avale el uso de estas estructuras.

En la presente investigación se determinó que el método de restauración que genera el menor beneficio varía de acuerdo a las necesidades del arrecife que se requiere y de los materiales del fondo. Entonces el que cumple todos los requisitos es el de hormigón con o sin estructuras de acero, que satisface los requerimientos de los arrecifes de protección, de reproducción y de usos turísticos como buceo y con fines científicos. Esto coincide con lo propuesto por (Gayo, 1998, Del Río, 2008 y González 2013).

## VIII.- CONCLUSIONES

El análisis de los diferentes materiales empleados para construir arrecifes artificiales mediante criterios específicos de selección permiten seleccionar los mejores diseños, tipos y función de arrecifes artificiales empleados en la restauración y protección.

Las estructuras de hormigón, con o sin acero de refuerzo, cumplen con los estándares de calidad y costos más accesibles de fabricación (p.e. Reef ball), para la restauración de fondos arrecifales.

El método de restauración con los mayores beneficios y que se adapta a la mayoría de los requerimientos de los diferentes tipos de arrecifes artificiales es el de concreto con o sin estructuras de refuerzo.

Los materiales como los bloques macizos de hormigón, las rocas naturales, contenedores geotextiles nos permiten realizar obras protección costas sobre la erosión del litoral, estando expuestos a las condiciones naturales generando con ello un hábitat para especies presentes en esta área, ya que estas obras son diseñadas con otro determinado fin.

La construcción de arrecifes artificiales con materiales como la cerámica ramificada o ecorref, electrodeposición, material de oportunidad o desuso, permiten construir arrecifes artificiales con la misma funcionalidad (producción. Protección y Mixto).

## **IX. APLICACIONES PRÁCTICAS**

La presente investigación documental es una herramienta, que permite conocer de forma generalizada los tipos de arrecifes artificiales existentes, sus funciones, usos y aplicaciones, así como los materiales utilizados para la fabricación de dichos arrecifes, generando una información sintetizada.

Servirá como guía para personas que pretendan tener un conocimiento sobre este tema, como es el caso de estudiantes de biología marina, oceanografía, ingeniería en pesca y acuicultura, investigadores en estudios de restauración ambiental de arrecifes, consultorías ambientales, proyectistas de obras portuarias de este tipo, instructores, guías y prestadores de servicios de buceo, cooperativas pesqueras.

## VII.- BIBLIOGRAFÍA

Acuerdos tomados en el seno de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/folletos/84/cap2.html>

Acuerdos Tuxtla I y II

<http://zedillo.presidencia.gob.mx/pages/disc/feb96/16feb96.html>

Arenas F. V., M., A Lozano, M. L. Jiménez, C. Meiners, M. E. Velarde, E. M. Ortiz, T. E. Morales, O, Guzon, J. A. González. 2011. Biodiversidad Marina de la Costa Central de Veracruz. COVECYT. Primera edición. México. Pp.223

BiorockTechnology. 2014. Revisado en febrero 2014

<http://www.biorock.net/Technologies/>

Bird, L. y J. Molinelli, 2001. El calentamiento global y sus consecuencias Los arrecifes de coral. pp. 5 Revisado junio 2014

<http://www.alianzageografica.org/leccioncalentglobal.pdf>

Cifuentes-Lemus J. L, P .Torres, M. Frías. 1997. El Océano y sus Recursos. Flujos de energía en el mar: reproducción y migraciones. La ciencia para todos. 2a. Edición. 105 pp.

Coello P. J. 2013. Arrecifes Artificiales.

<http://www.slideshare.net/jessicacoello/arrecifes-artificiales-presentation>

Convención de las Naciones Unidas sobre el derecho del mar (CONVEMAR)

<http://www.semarnat.gob.mx/temas/agenda-internacional/derecho-del-mar>

Convención sobre Diversidad Biológica

<http://www.un.org/es/events/biodiversityday/convention.shtml>

Convenio de Cartagena

<http://www.semarnat.gob.mx/temas/agenda-internacional/convenio-de-cartagena>

Convenio de Londres y Protocolo/PNUMA, 1972. Directrices relativas a la colocación de arrecifes. Pp.101

<http://www.imo.org/OurWork/Environment/LCLP/Publications/Documents/Artificial%20Reefs%20Spanish.pdf>

Convenio de Ramsar

<http://www.semarnat.gob.mx/temas/agenda-internacional/ramsar>

Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farberk, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Suttonk y Marjan Van Den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. <https://groups.nceas.ucsb.edu/ma-eco-tradeoffs/documents/valuation-reprints-and-resources/Costanza%20et%20al%20-%20The%20value%20of%20the%20world%20ecosystem%20services%20and%20natural%20capital.pdf/view>

De la Nuez, D. 2013. Los arrecifes artificiales y la protección del ecosistema marino, Revisado 2014. <http://www.ojocientifico.com/4806/los-arrecifes-artificiales-y-la-proteccion-del-ecosistema-marino>

Del Rio Q., M. 2014. Arrecifes Artificiales. España, 13 pp.

<http://www.iesmaritimopesquerolp.org/asignaturas/BIOLOGIA/trabajos%20curso%2009-10/ace.%20artificial.pdf>

Edwards A. J., E. D. Gómez. 2007. Restauración Arrecifal. Conceptos y recomendaciones. Revisión 2013. <http://www.gefcoral.org>

Fernández-Muerza, A. 2010. Arrecifes artificiales para proteger la vida marina. Actualizado el 15 de marzo de 2010. Revisado 2013

[http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/naturaleza/2010/03/15/191655.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/naturaleza/2010/03/15/191655.php)

García, M. y G. Nava, 2007. Oceanus, A.C. Programa de Monitoreo de las Comunidades Arrecifales de Yum Balam. Revisado 2013  
<http://ppd.org.mx/tts/up/documentos/mexop3y20625-caracterizaciondelascomarrecifales.pdf>

García-Rivero J. L. 2008. Manual Técnico de Construcción. 4a Edición. Revisión 2013

Gayo R., J. L. 1998. Arrecifes artificiales: Estructuras llenas de vida, España, 16 pp. Revisado 2013  
<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/875/957>

González G. J. F. 2009, Fundación Arrecifes Artificiales pura Vida A.C., Revisión Abril 2013 <http://www.imcyc.com/ct2009/feb09/mejor.htm>

Granados-Barba A., L. G. Abarca , J. M. Vargas. 2007. Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Universidad Autónoma de Campeche. 304 pp.

Herrejón-de la Torre, L. 1982. Estructuras Marítimas. Editorial Limusa, S. A de C. V. 1ª edición 1979, 1ª. Reimpresión México. 125 pp.

Latitudscuba. 2012. Arrecifes Artificiales. 2012 Revisado 2014. Actualizado el 9 de mayo 2012. <http://www.latitudscuba.com/arrecifes-artificiales/>

Lewis R. D. y K. K. McKee. 1989. A Guide to the Artificial Reefs of Southern California with the Nearshore Sportfish Habitat Enhancement Program. The guide was updated by Dennis Bedford in 2001.  
<http://www.dfg.ca.gov/marine/artificialreefs.asp>



Macdonel-Martínez, G., J. Pindter, L. Herrejón- de la Torre, J. Piza, H. López, 2009. Ingeniería Marítima y Portuaria. Alfaomega, UNAM. México.

MARENTER. 2014. Aplicaciones diversas de Arrecifes Artificiales a base de elementos de Concreto tipo ReefBall. Revisado 30 de junio de 2014. Pp.10  
<http://www.artificialreefs.org/ScientificReports/Aplicaciones%20Diversas%20de%20%20Arrecifes%20Artificiales.htm>

Ministerio del Medio Ambiente de España. 2008. Guía Metodológica para la instalación de arrecifes artificiales. Parte I: 59 pp, Parte II :77 pp. Gobierno de España

[http://www.pnuma.org/agua-miaac/REGIONAL/MATERIAL%20ADICIONAL/BIBLIOGRAFIA-WEBGRAFIA%20\(2\)/Guia%20metodologica%20para%20la%20instalacion%20de%20arrecifes%20artificiales.pdf](http://www.pnuma.org/agua-miaac/REGIONAL/MATERIAL%20ADICIONAL/BIBLIOGRAFIA-WEBGRAFIA%20(2)/Guia%20metodologica%20para%20la%20instalacion%20de%20arrecifes%20artificiales.pdf)

Myatt, E. N. y D. O. Myatt. 1992. Florida artificial reef development plan. Florida Department of Natural Resources, Office of Management and Assistance Services. 288 pp.

NOM-05-TUR-1998

[http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/sem\\_cert\\_amb\\_tur\\_pon\\_06\\_magdalena.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/sem_cert_amb_tur_pon_06_magdalena.pdf)

NOM-006-PESC-1993

<http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/work/sites/cona/resources/LocalContent/8739/24/006pesc1993LANGOSTA.pdf>

NOM-008-PESC-1993

<http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/work/sites/cona/resources/LocalContent/8739/24/008pesc1993PULPO.pdf>

NOM-013-PESC-1994

<http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/work/sites/cona/resources/LocalContent/8739/24/013pesc1994CARACOL.pdf>

NOM-022-SEMARNAT-2003

[http://www.cec.org/Storage/148/17362\\_Nota\\_48\\_NOM-022-semarnat-2003.pdf](http://www.cec.org/Storage/148/17362_Nota_48_NOM-022-semarnat-2003.pdf)

NOM-029-PESC-2000

[http://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/resources/PDFContent/2042/norma\\_de\\_tiburn\\_dof.pdf](http://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/resources/PDFContent/2042/norma_de_tiburn_dof.pdf)

NOM-059-SEMARNAT-2010

[http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM\\_059\\_SEMARNAT\\_2010.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf)

Pérez del Toro Rivera T., R. 2001. Arrecifes Artificiales. Una nueva forma de conservación de ecosistemas marinos. México. pp. 8. Revisión mayo 2013  
<http://www.artificialreefs.org/ScientificReports/artificialreefbenefitsenespanol.pdf>

Plataforma Urbana. 2014. <http://www.plataformaurbana.cl/>

Puerta L., M.L. 1982. Cultivos Marinos: Peces, Moluscos, Crustáceos. 2ª Edición. Zaragoza, España: editorial Acriba 436 pp.

Qualti, 2013. Arrecife monolítico, Arrecife fractal artificial  
<http://www.qualti.com.mx/esp/fractal.cfm>

Reef ball fundación. 2007. Revisado mayo 2013  
<http://www.reefball.org/spanishhome.htm>

- Seaman, W. Jr. y L. M., Sprague (Eds). 1991. Artificial habitats for marine and freshwater fisheries, XVIII, 285 pp. Academic Press, Cambridge University Press
- Semarnat. 2005. (04CA2005PD079) Proyecto para el establecimiento de Arrecifes Artificiales Tipo Reef Ball frente a la zona costera de Sabancuy, Municipio de Carmen, en el Estado de Campeche. Revisado 8 de diciembre 2014. <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/camp/estudios/2005/04CA2005PD079.pdf>
- Semarnat. 2013, Arrecifes de coral. [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_04/04\\_biodiversidad/recuadros/c\\_rec5\\_04.htm](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/04_biodiversidad/recuadros/c_rec5_04.htm)
- SEMARNAT, 2013. Instituto Nacional de Ecología <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/33/convenios.html>
- Serra-Peris, J. y J. R. Medina-F. 1988. Arrecifes artificiales (II). Arrecifes artificiales en el litoral español. Experiencia Valencia. Revisión 2013. [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1988/1988\\_marzo\\_3267\\_03.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1988/1988_marzo_3267_03.pdf)
- Shinn, E. A. y R. I. Wichlund. 1989. Artificial reefs observations from a manned submersible off Southeast Florida. Bull Mar Scien. 44:1041-1050.
- Silva-Lee, A. 1984. El Mar. Editorial Gente Nueva. Habana Cuba 132 pp.
- Stone, R. B., J. M. McGurrin, L. M Sprague y W. Jr. Seaman. 1991. Artificial habitats of the world: synopsis and major trends.
- Tunnell Jr. J. W., E. A. Chávez y K. Withers (Eds). 2010. Arrecifes coralinos del sur del Golfo de México. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. IPN México. D.F. 293 pp.