

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/228889902>

# Nuevas aplicaciones de la robótica. Robots de servicio

## Article

CITATIONS

4

READS

9,711

### 1 author:



[Antonio Barrientos](#)

Universidad Politécnica de Madrid

279 PUBLICATIONS 3,930 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Application of robotics to greenhouse farming [View project](#)



SAVIER Situational Awareness Virtual EnviRonment [View project](#)

# Nuevas aplicaciones de la robótica. Robots de servicio

Antonio Barrientos

Departamento de Automática, Ingeniería electrónica e Informática industrial.

DISAM-UPM

Universidad Politécnica de Madrid.

[barrientos@disam.etsii.upm.es](mailto:barrientos@disam.etsii.upm.es)

## Resumen

*Tras un lento crecimiento inicial, el uso de los robots industriales experimentó durante los años 70 y 80 un vertiginoso crecimiento, instalándose con autoridad en muchas de las industrias manufactureras, en particular la del automóvil. En el presente hay unas 800.000 unidades operativas en todo el mundo. Este número de robots cubre en gran medida todas aquellas instalaciones en las que el uso del robot es económicamente rentable. Por este motivo parece probable que el número de robots industriales instalados se quede finalmente estancado entorno a esta cifra.*

*No obstante desde mediados de los años 80 han surgido otras aplicaciones para los robots, no ligadas a la manufactura, y en la que se busca en el empleo del robot ventajas distintas a la del aumento de la productividad. Estas aplicaciones se caracterizan en muchos casos por desarrollarse fuera del ambiente estructurado propio de una fábrica, por lo que los robots que las desarrollan deben reunir una serie de características particulares. Dado que sus funciones suelen estar ligadas al desarrollo de servicios útiles para los hombres o las máquinas, estos robots se ha venido a denominar robots de servicio. Se presentan a continuación el estado de la robótica de servicio haciendo énfasis especial en algunas de sus aplicaciones.*

## **1. Introducción**

Los robots hicieron su aparición en la industria en los años 60 y tras unos comienzos inciertos demostraron su utilidad y eficacia, popularizándose en las fábricas e industrias, en particular la automovilística, durante los años 70 y 80. En el momento actual, principio del nuevo siglo, se estima que el número de robots instalados en las fábricas del todo el mundo está entorno a los 800.000, manteniéndose esta cifra con una escasa tasa de crecimiento en los últimos años. Se considera en la actualidad, que la robótica industrial ha tocado techo en cuanto a número de robots instalados, por cuanto que se han llegado a cubrir materialmente todas aquellas funciones donde su uso era económicamente rentable.

Durante estos 40 años de robótica, las capacidades de los robots han experimentado una moderada evolución, soportada tanto por los avances en el hardware y software utilizado en su sistema de control y sistema sensorial, como por las aportaciones venidas del área del diseño mecánico y nuevos materiales. Así mismo las aportaciones algorítmicas realizadas por los investigadores en los diversos aspectos involucrados en la robótica, han contribuido a esta evolución.

Desde su comienzo se han creado entorno a los robots unas expectativas de capacidades superiores a las que finalmente se han ido logrando. Esta mitificación de las capacidades del robot, en buena medida propiciada por el concepto literario y cinematográfico del término, se ha tenido que enfrentar con la limitada “inteligencia” de la que se les ha podido dotar, que ha restringido su trabajo a la interacción con piezas o herramientas dentro de un entorno muy estructurado, especialmente construido o adaptado para que el robot trabaje con “comodidad” y en el que casi todo está previsto.

Dentro de este entorno, que sin excesivas dificultades puede ser garantizado en una fábrica o taller, el robot ha demostrado su alta eficiencia. Es rápido, preciso, no se cansa y se coordina a la perfección con el resto de robots y máquinas que intervienen en el proceso. Sus actuales prestaciones le permiten con facilidad, posicionarse con precisión submilimétrica, localizar las piezas con las que tiene que

trabajar, comunicarse con otro equipos, ser programado mediante eficaces herramientas informáticas, etc. Sin embargo, aún tiene limitaciones en su movilidad, en la capacidad de interactuar con el ser humano, en adaptarse a situaciones distintas de las previstas, o en modificar el tipo de actividad a la que se dedica por si solo.

A mediados de los años 80, en los laboratorios y centros de investigación dedicados a la robótica, se trató de revitalizar la importancia de los robots en nuestra sociedad, tratando de sacarle de su entorno productivo y aplicándole a aquellas funciones en las que no se buscaba necesariamente una conjunción de ventajas asociadas al coste de fabricación de un determinado producto. En lugar de ello, se plantearon las ventajas que el uso del robot podía traer en tareas en las que el ser humano asumía importantes riesgos o en las que las capacidades de aquel estaban limitadas por factores como la fuerza o la precisión necesaria. En la mayor parte de estos casos, el robot debería desarrollar su trabajo en un entorno no especialmente adaptado a sus características, a priori desconocido, continuamente cambiante y con una importante interacción con las personas. Puesto que no se trataba en estos casos de un uso industrial de los robots al objeto de fabricar bienes, sino de su empleo para desarrollar tareas para las personas, se entendió que estas nuevas aplicaciones de la robótica deberían catalogarse como aplicaciones en el sector servicios.

Estos esfuerzos por aplicar al robot fuera de las fábricas han tenido importantes resultados en sectores como la construcción, la medicina o la agricultura, y son un paso más hacia el robot “personal” cercano al concepto mítico del robot de la ciencia ficción.

## **2. Robots de Servicio**

Como ocurre para el propio término de “robot”, no es fácil encontrar una definición que delimite correctamente lo qué es un robot de servicio. La Federación Internacional de Robótica (IFR) define a un robot de servicio como:

“aquel que trabaja de manera parcial o totalmente autónoma, desarrollando servicios útiles para el bienestar de los humanos y equipos. Pueden ser móviles y con capacidad de manipulación”

Esta definición es una adaptación de la dada anteriormente por el IPA (Fraunhofer Institute for Produktionstechnik und Automatisierung) que establece que un robot de servicio es:

“un dispositivo móvil programable, que desarrolla servicios de manera total o parcialmente automática; entendiendo por servicios a aquellas tareas que no sirven directamente a la industria de fabricación de bienes, sino a la realización de servicios a las personas o a los equipos”.

En la práctica, las actuales y potenciales aplicaciones no industriales de los robots son tan variadas y diferentes, que es difícil encontrar una definición suficientemente amplia y concreta a la vez de un robot de servicio, más aún por cuanto la gran diversificación de estas aplicaciones y el bajo número de sistemas iguales (en muchos casos son sistemas o aplicaciones únicas) dificulta su conocimiento y catalogación

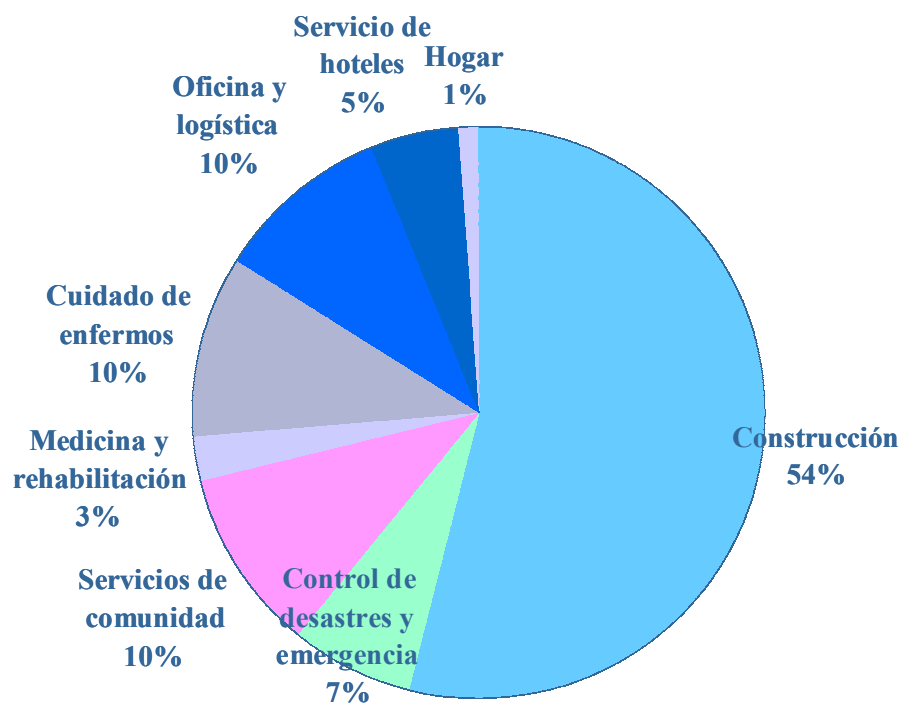
Tratando no obstante de establecer una primera división en estas aplicaciones no industriales de los robots , la IFR ha propuesto clasificarlas en:

- Aplicaciones de Servicio a humanos (personal, protección, entretenimiento, ...)
- Aplicaciones Servicio a equipos (mantenimiento, reparación, limpieza, etc.)
- Otras funciones autónomas (vigilancia, transporte, adquisición de datos, inspección, etc.)

De una manera más concreta se puede indicar que los robots de servicio operan en sectores y realizan actividades como:

Espacio  
Construcción  
Médico  
Submarino  
Nuclear  
Limpieza  
Agricultura  
Doméstico y de oficina  
Militar y seguridad  
Ocio y entretenimiento

Se estima que en la actualidad hay unos 1200 robots de servicio operativos, distribuidos en las actividades antes descritas como se muestra en la *Ilustración 1*



*Ilustración 1. Distribución por aplicaciones de los Robots de Servicio*

En los epígrafes siguientes se van a revisar estas aplicaciones, mostrando desarrollos concretos y desatacando las ventajas que puede aportar el robot en ellas así como los avances tecnológicos que han sido necesarios para abordarlas.

### **3. Aplicaciones en la construcción**

La industria de la construcción está presente en una buena parte de la economía de los países industrializados. Se estima que entre el 10 y el 20 % de las inversiones de un país están destinadas a obras civiles y construcción de edificios. En España aproximadamente el 15% del PIB se dedica a la construcción. Por otra parte se aprecia una notoria dificultad para encontrar mano de obra dedicada a la construcción. En Japón se dice que la construcción es la industria de las “3K” haciendo referencia a que es “Kitsui” (dura), “Kitani” (sucio) y “Kiken” (peligrosa), características que hacen poco atractivo este trabajo para los jóvenes que se incorporan al mercado laboral, con el consiguiente envejecimiento de la mano de obra.

Ambas realidades (alta importancia económica, baja capacidad para captar mano de obra) podrían suponer una tendencia elevada a la automatización, sin embargo es destacable la comparativamente baja tecnificación del sector, no habiendo experimentado los procedimientos constructivos grandes avances tecnológicos en cuanto a automatización se refiere, pues si bien se han incorporado máquinas como grúas, excavadoras, etc. su empleo es fuertemente dependiente del ser humano.

La explicación a este bajo nivel de automatización a pesar de las ventajas que aportaría, se encuentran en gran medida a la baja repetibilidad de las tareas involucradas y a la agresividad del entorno. Por lo tanto para poder abordar la automatización y en particular la robotización de la construcción, es preciso realizar una cierta sistematización en todas las fases del proceso de la construcción.

En este sentido, en los años 90 apareció en concepto CIC (Computer Integrated Construction) que de manera similar a su equivalente en la industria manufacturera CIM (Computer Integrated Manufacturing), pretende la integración de todas las fases del proceso: diseño y planificación , prefabricación y obra. La robótica puede intervenir de manera muy eficiente en la fase de prefabricación, por cuanto esta es de características similares a la de la industria manufacturera. Pero es en la fase de obra en la que la robotización se encuentra con las dificultades antes citadas de baja estructuración del entorno y dureza del ambiente. Para conseguir un adecuado grado de automatización en obra, es preciso redefinir buena parte de los procedimientos constructivos, por lo que el citado concepto CIC es de gran importancia.

Son muchas las funciones en obra que hasta la fecha han sido robotizadas. En Japón, el país con mayor experiencia en la automatización de la construcción, se utilizan robots en este sector para cerca de 100 funciones diferentes, de entre las que se puede destacar:

- Soldadura de vigas y estructuras de acero
- Inspección ultrasónica de la soldadura
- Proyección de cemento en suelos
- Proyección de materiales de acabado interior
- Proyección de material aislante
- Manipulación y colocación de paneles de acabado interior
- Proyección de cemento en el interior de túneles
- Inspección de exteriores de edificios
- Colocación de estructuras exteriores de construcción (paneles, bloques, etc.)

Uno de los ejemplos más representativos de la automatización y robotización en la construcción es el sistema SMART (Shimizu Manufacturing system by Advanced Robotics Technology) desarrollado por la compañía japonesa Shimizu en la primera mitad de los años 90. El sistema convierte en un taller la planta del edificio que se soporta sobre cuatro columnas maestras y queda cubierta por una estructura plástica quedando protegido de las inclemencias atmosféricas. En su



interior se trabaja en condiciones similares a las de un taller, lo que junto con el adecuado diseño y planificación de la obra de acuerdo al concepto CIC, facilita la automatización, empleándose robots en algunas de las misiones antes enumeradas (soldadura de vigas, hormigonado de suelos, recubrimiento de paredes, etc.). Una vez construida la planta esta se eleva sobre las cuatro columnas, repitiéndose el proceso para la planta siguiente. Los resultados indicados por Shimizu muestran una importante reducción del tiempo empleado en la construcción del edificio.



*Ilustración 2. Sistema Smart y robot para nivelado de suelos de hormigón*

Otro ejemplo de la aplicación del concepto CIC es el sistema ROCCO desarrollado en la Comunidad Europea con participación de Alemania, España y Bélgica. En este caso el sistema está orientado a la construcción de viviendas familiares, utilizando elementos exteriores e interiores (bloques) prefabricados, cuya



*Ilustración 3. Robot ROCCO*

forma está diseñada de manera adecuada para facilitar el ensamblado automático en obra. Estos bloques de material siliceo calcáreo, son suministrados a la obra en pallets de una manera perfectamente estructurada, al objeto de que robots especiales tengan ciertas facilidades para su localización y aplicación en el lugar correcto. Así pues la tarea de los robots es tomar cada uno de los bloques de los pallets y situarlo en la posición prevista incorporando un cemento especial entre ellos. Junto con el necesario aumento de la estructuración del entorno, los robots deben estar dotados de movilidad y de capacidades de reconocimiento y localización de los elementos con los que tiene que trabajar.

#### **4. Aplicaciones en el espacio**

La industria espacial ha sido una de las que de manera más significativa ha contribuido a la aplicación de los robots a tareas no convencionales. Desde el año 1967, en el que las sondas robotizadas Surveyor (EEUU) y Lunakhods (URSS) fueron utilizadas para exploraciones extraplanetarias, el ámbito de aplicación de los robots en el espacio se ha ampliado a tareas de manipulación con control remoto (Telemanipuladores) para misiones intra y extravehiculares, aportando destacables ventajas a la realización de misiones por astronautas e incluso siendo la única solución posible en muchos casos.

Los posibles beneficios que el uso de los robots en el espacio conlleva se obtienen bien por el hecho de descargar a los astronautas del desarrollo de ciertas tareas (como el desarrollo de experimentos científicos en órbita) , por mejorar la calidad de las mismas colaborando con la tripulación (por ejemplo realizando trabajos de ensamblado o reparación extravehicular) o por realizar tareas que hoy en día serían imposibles de realizar por seres humanos (exploraciones fuera del sistema solar, por ejemplo).

De manera general las ventajas que aporta el uso de los robots en el espacio pueden esquematizarse en las siguientes:

- Incremento de la seguridad (entorno hostil).
- Incremento de la productividad (aprovechamiento del tiempo)
- Reducción de los costes de operación (aumento de productividad y reducción de costes de recursos para los astronautas: entrenamiento, soporte, etc.)
- Incremento de la fiabilidad.
- Posibilidad de realizar tareas imposibles para el ser humano (exploración de otros planetas, de asteroides o cometas)
- Incremento de la flexibilidad (pueden ser aplicados a diversas funciones)

La NASA clasifica las misiones de los robots en el espacio en tres grupos:

- Robots extravehiculares (EVR): Son robots que deben realizar misiones en el exterior de naves en órbita terrestre, como la puesta en órbita y recogida de satélites, ensamblado y mantenimiento de la estación espacial internacional (ISS), apoyo a los astronautas en operaciones extravehiculares, etc. El ejemplo más representativo de este tipo de robots es el Remote Manipulator System (RMS) construido por la empresa canadiense SPAR en 1981 y que ha efectuado numerosas misiones a bordo de la lanzadera espacial.
- Robots para exploración de otros planetas: se trata de robots móviles, con frecuencia dotados de capacidades de manipulación que han sido y son utilizados para la exploración de la superficie de otros planetas. A este tipo pertenecen las primeras realizaciones, (Surveyor, Lunakhods, Viking), así como el más reciente Sojourner.
- Robots para tareas intravehiculares: se trata de robots, de características no muy diferentes a la de los robots industriales, incorporados a las naves al objeto de realizar experimentos científicos en entornos controlados. Así el desarrollo de experimentos físicos, químicos, biológicos etc. en condiciones de microgravedad, puede ser preprogramado en tierra con la debida precisión y reproducidos en órbita sin precisar de la atención de los astronautas.

A excepción de este último grupo de tareas, los robots espaciales suelen ser teleoperados, bien por la tripulación de la nave que los transporta , o bien desde Tierra. En este segundo caso las limitaciones en la calidad y frecuencia de las comunicaciones impone severas restricciones que han originado importantes esfuerzos de investigación en el área de la robótica.

Los robots utilizados para tareas espaciales, deben reunir una serie de características constructivas especiales, algunas comunes a todos ellos y otras especialmente importantes para el caso de robots que trabajan fuera de la nave espacial.

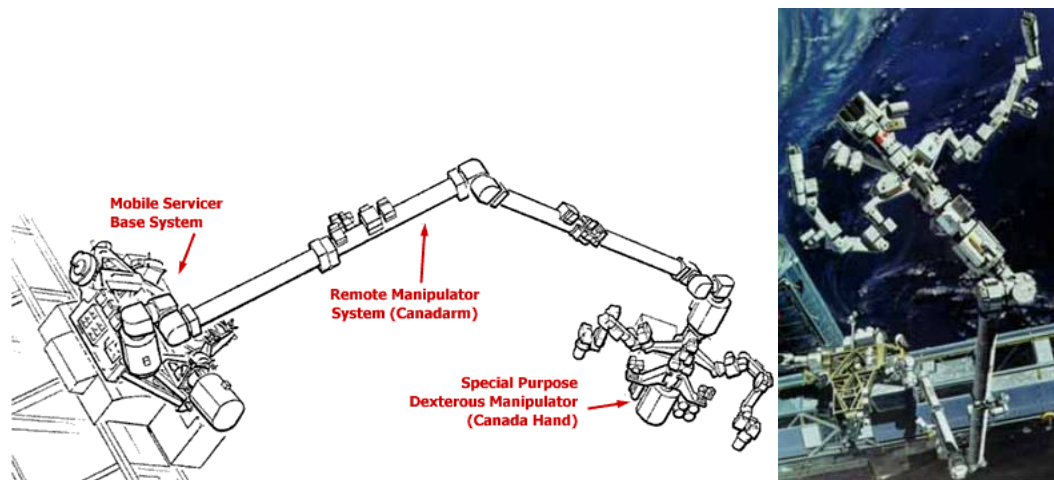
- Como primer característica común los robots espaciales deben ser ligeros. El coste asociado a propulsar un peso determinado fuera del campo gravitacional es elevado, por lo que es importante el diseño de robots con estructuras especialmente ligeras. Esta circunstancia se ve dificultada por el hecho de que en algunos casos se precisa robots con un alcance elevado (del orden de 10 o más metros): El uso de estructuras ligeras con tan largo alcance, implica flexiones estructurales importantes en las “barras” que componen el robot (robots de estructura flexible) , lo que supone una importante dificultad en su control.
- Como ocurre en general con todos los componentes electrónicos destinados a operar en el espacio, el grado de fiabilidad y robustez de la electrónica utilizada en el robot debe ser elevada. El coste de la puesta en marcha y ejecución de una misión espacial es alto, por lo que los riesgos de una posible avería que dificultase o impidiese alcanzar los objetivos de la misión deben ser reducidos al máximo. Lo mismo cabe decir con la fiabilidad del software involucrado en el control del propio robot y en el desarrollo de su tarea. Esta circunstancia, justifica entre otras cosas que solo se empleen elementos y desarrollos hardware y software suficientemente probados aún a expensas de no ser los tecnológicamente más avanzados.

- Las condiciones de trabajo implícitas en el espacio son especialmente duras. Las condiciones de vacío originan dificultades en el manejo de fluidos (accionamientos, lubricación) la (evaporación de fluidos, deformación de estructuras), siendo preciso garantizar la estanqueidad de juntas y conducciones. Las radiaciones, que no llegan hasta la Tierra gracias al escudo y filtro que supone la atmósfera, inciden de manera directa sobre los sistemas eléctricos que intervienen en el robot (sensores, actuadores, equipos de control) pudiendo alterar las señales eléctricas o averiar los componentes citados. El cambio brusco de temperaturas, y la dificultad en disipar el calor (fundamentalmente por radiación), puede originar deformaciones o roturas en los materiales. Además en la fase de despegue, la nave y toda su carga se ve sometida a severas condiciones mecánicas con altas vibraciones, y aceleraciones. Por todo ello el diseño electromecánico de los robots espaciales, en particular los de aquellos que deben trabajar en misiones extravehiculares, es especialmente riguroso.

Si bien, como se ha indicado, algunas de las tareas a realizar por los robots espaciales pueden ser preprogramadas y ajustadas con precisión en Tierra (caso de ayuda en el desarrollo de experimentos intravehiculares) en la mayor parte de los casos el entorno de trabajo y el modo en que las tareas pueden ser llevadas a cabo es desconocido a priori. La solución a esta circunstancia es abordada mediante una doble vía: el dotar al robot de mayor grado de autonomía y el permitir el telecontrol del sistema. En ambos casos es preciso dotar al robot de un adecuado sistema sensorial, que puede incorporar, sistemas de visión bi- o tri-dimensional, sistemas de medida de las fuerzas ejercidas por el robot sobre su entorno y otro tipo de sensores de variables ambientales (Temperatura, radiación etc.). La información proporcionada por estos sensores es utilizada, en el caso de robots con mayor grado de autonomía, por el sistema de control, que debe hacer uso de técnicas propias de Inteligencia Artificial para tratar de replanificar la tarea adaptándose al estado real de entorno. Esta solución se enfrenta con las limitaciones por ahora insoslayables de la IA, que no es capaz de proporcionar soluciones a los problemas planteados salvo en un número muy limitado de casos. En el caso de que se empleen tele-robots, la información sensorial debe ser transmitida y presentada al operario de la manera más eficiente posible, de modo que este pueda sacar el mayor provecho de ella. Si el

telecontrol se efectúa desde la Tierra, aparecen importantes problemas derivados de las limitaciones existentes en las comunicaciones. Así los fallos en la comunicación, las limitaciones en el ancho de banda (y por lo tanto en la densidad de la información transmitida) y los retrasos motivados por las grandes distancias a salvar, originan que el operario no disponga en el momento adecuado de la información necesaria para actuar, o incluso disponga de información errónea (por darse a destiempo por ejemplo). En este caso la información procedente de los sensores debe acompañarse de importantes ayudas implantadas mediante el hardware y software necesario (simulaciones, interfases hombre máquina, etc.) que tratan de solventar las limitaciones de la comunicación.

En los últimos años el resurgimiento de la “carrera espacial” (en la actualidad con cierto grado de colaboración entre el líder: EEUU y otros países: UE, China, Japón, que tratan de no quedarse atrás), ha aumentado el número de realizaciones de sistemas robotizados para el espacio. Como ejemplo puede citarse el sistema que está siendo desarrollado para su uso en la Estación Espacial Internacional (ISS) por



*Ilustración 4. Sistema MSS para la Estación Espacial Internacional*

SPAR (Canadá) denominado Mobile Servicing System (MSS). Este sistema se compone de dos robots:

- El primero de ellos es el SSRMS (Space Station Remote Manipulator System). Se trata de un robot de gran tamaño (17 metros) y 7 grados de libertad. La simetría de su cadena cinemática está pensada para permitirle intercambiar las funciones de cada uno de sus extremos. De esta manera mientras un extremo está

sujeto a la estructura exterior de la ISS el otro realiza la tarea de manipulación encomendada, pudiendo intercambiarse ambas funciones. Además el robot va dispuesto sobre un sistema de desplazamiento (MSC) que le permite desplazarse por la estructura exterior de la estación. Esta posibilidad, junto con la capacidad de intercambiar el extremo libre y el sujeto a la estructura, le dotan de una elevada movilidad.

- El segundo de los robots es el denominado SPDM (Special Purpose Dexterous Manipulator), consistente en un robot con dos brazos manipuladores de 7 grados de libertad y un alcance de 3.3 metros cada uno. Sus capacidades se ven potenciadas por la incorporación de un sistema de cambio de herramienta y el uso de sensores de fuerza-par y visión.

Ambos sistemas son tele-robots controlados desde la estación espacial ISS y las funciones a las que está previsto destinarlos son entre otras:

- Ensamblado y en general construcción de la Estación Espacial Internacional (los módulos son transportados a bordo de lanzaderas espaciales de las que hay que recogerlos)
- Inspección y mantenimiento exterior de la ISS
- Puesta en órbita y recuperación de robots de vuelo libre o pequeñas naves.
- Apoyo a la tripulación en operaciones extravehiculares.

De entre los desarrollos europeos destaca el ROTEX (Robot Technology Experiment) desarrollado por el DLR (Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Alemania) y que permitió en 1993 evaluar las posibilidades de usar un tele-robot en órbita controlándolo tanto desde la nave como desde la Tierra. El sistema concebido como un desarrollo experimental destinado a evaluar las potencialidades de este tipo de robots, incorporaba entre otras capacidades: diversos sensores (fuerza-par, distancia, tacto, visión estereoscópica, etc), cierto grado de autonomía y compensación de los retrasos temporales mediante “simulación predictiva”, que permitía al usuario teleoperar sobre un simulador del movimiento del robot y de las fuerzas de interacción con su entorno, tratando de solventar los problemas derivados



*Ilustración 5. Puesto de telecontrol del sistema ROTEX (DLR)*

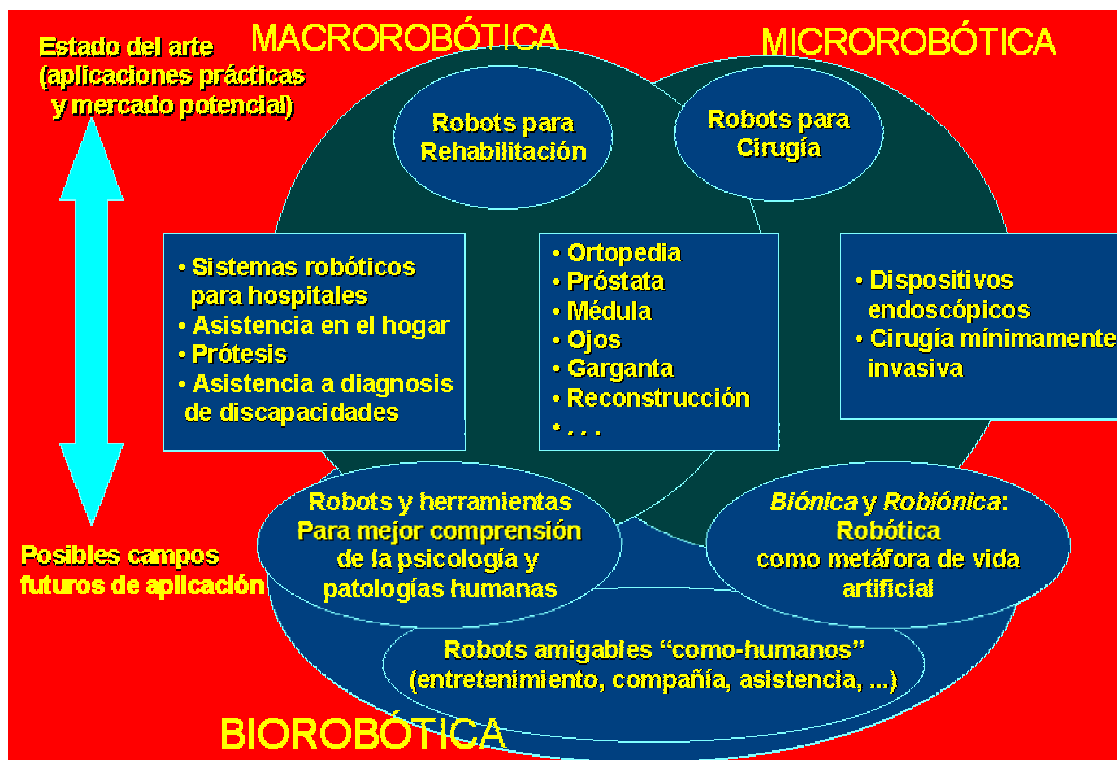
de los retrasos de más de 5 segundos motivados por las comunicaciones a largas distancias.

## **5. Aplicaciones en la medicina**

Existen en la actualidad un número importante de aplicaciones consolidadas de la robótica y de las tecnologías asociadas a la misma en los diferentes campos de la medicina. La ilustración siguiente, extraída del “Robots in medicine” [Dario-95], muestra una clasificación de estas aplicaciones. Se destacan dos grandes áreas, la cirugía y la rehabilitación, agrupadas a su vez, de acuerdo a las características de tamaño, diseño y modo de operación de los robots y tecnologías robóticas utilizadas, en macro y microrobots. Además se consideran otra serie de futuras aplicaciones relacionadas con la Bio-robótica en las que se considera que la robótica puede servir como elemento promotor para entender algunos aspectos del comportamiento y funcionalidades de los sistemas biológicos. Se describen a continuación con más detalle las aplicaciones de la robótica en cirugía.

Son dos las principales aportaciones que puede realizar la robótica en la cirugía. Por una parte la gran precisión de sus movimientos, superior a la de las manos del cirujano, inevitablemente sujetas a movimientos no deseados (temblor fisiológico) o a errores de posicionamiento por falta de visibilidad, cansancio, etc. Por otra parte la posibilidad de separar al cirujano de la sala de operaciones, pudiendo así llegar a pacientes situados en lugares alejados o en cierta medida inaccesibles.





*Ilustración 6. Posibilidades de la robótica en medicina (P. Dario)*

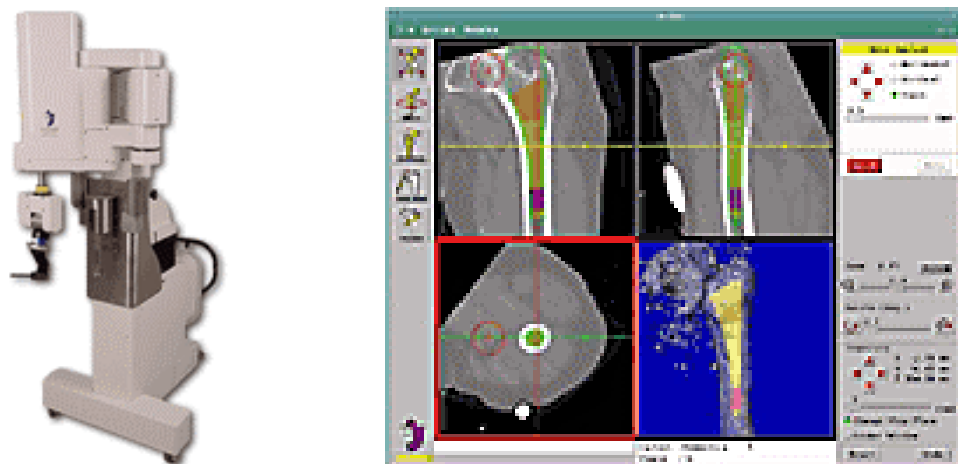
Desde el punto de vista de la técnica quirúrgica, las aplicaciones de los robots en cirugía pueden agruparse en aquellas basadas en la cirugía guiada por imagen y la cirugía mínimamente invasiva. Ambas técnicas, inicialmente desarrolladas para su uso sin robots, han visto ampliada notoriamente su eficacia con el empleo de estos últimos.

En la cirugía guiada por imagen, se hace uso de las diferentes técnicas de imagen médica (RMN, TAC, etc.) para disponer, de manera previa a la operación, de información que permite hacer una preplanificación detallada de como se debe acceder a la zona objeto de la operación y del modo en que ésta debe ser realizada. Posteriormente, ya en el quirófanos el paciente o algunas zonas de su cuerpo, deben ser fijadas a la mesa de operaciones mediante e adecuado utillaje, realizándose entonces un ajuste de la posición real de los órganos del paciente y de las imágenes obtenidas anteriormente. A partir de este momento, el cirujano dispone de importantes ayudas informáticas, para llevar a cabo la operación con precisión de

acuerdo al plan previamente establecido. El disponer de un sistema robótico, que realice de manera automática las acciones que precisan de mayor precisión de este plan, complementan este sistema de cirugía asistida.

Este tipo de operaciones son frecuentes en cirugía ortopédica (prótesis de cadera p.e.) o en neurocirugía, donde la precisión de la operación es de gran importancia para el resultado de ésta, existiendo en Estados Unidos y Europa, varios sistemas en funcionamiento para estos y otros tipos de operaciones.

El sistema ROBODOC, desarrollado por Integrated Surgical System Inc. es un completo sistema robotizado que ha sido utilizado con éxito en operaciones de sustitución de la cabeza del fémur por una prótesis de material biocompatible y resistente. Utiliza una combinación de sistema CAD (Orthodoc) con un robot de manera similar al concepto CAD-CAM. El sistema CAD facilita la selección de la prótesis más adecuada y la planificación de la operación, mientras que el robot efectúa con precisión la tarea encomendada consistente en la perforación del fémur para la inserción de la prótesis.



*Ilustración 7. Sistema ROBODOC*

En la cirugía mínimamente invasiva, se busca producir el mínimo daño en los tejidos del paciente, disminuyendo el tiempo de recuperación y el riesgo de infección del paciente. Se basa en la realización en alguna parte del cuerpo (frecuentemente el abdomen) de unas pocas (4 o 5) pequeñas incisiones de un diámetro habitualmente

inferior al centímetro, por donde se introducen los instrumentos quirúrgicos. Además para que el cirujano pueda ver el resultado de sus acciones, es preciso introducir un pequeña cámara de vídeo y la correspondiente iluminación. A esta técnica se la denomina laparoscopia o endoscopia y por extensión al procedimiento quirúrgico se le denomina cirugía laparoscópica

Frente a la técnica habitual de cirugía abierta en la que el cirujano puede ver, manipular y explorar con el tacto de manera directa los tejidos del paciente, en la cirugía laparoscópica, se depende de las imágenes obtenidas a través de una cámara y de las sensaciones de tacto obtenidas a través del instrumental introducido por los pequeños orificios practicados.

La imagen proporcionada por la cámara endoscópica adolece de una pérdida importante de calidad motivada entre otros factores por la iluminación deficiente, la resolución limitada, las limitaciones del punto de vista impuestas por la poca movilidad del endoscopio dentro del cuerpo del paciente, la contaminación de la lente por fluidos o por el posible humo generado por el electrobisturí, la pérdida de profundidad al tratarse de una imagen bidimensional, etc.

Asimismo la sensación táctil que tiene el cirujano está muy limitada, por el uso de instrumentos largos, por las fricciones de éstos con el interior del cuerpo o por la limitación de movimientos impuestos por las pequeñas incisiones. Además el manejo de estos largos instrumentos, incluido el posicionador de la cámara es cansado y debe hacerse con precisión y correcta coordinación.

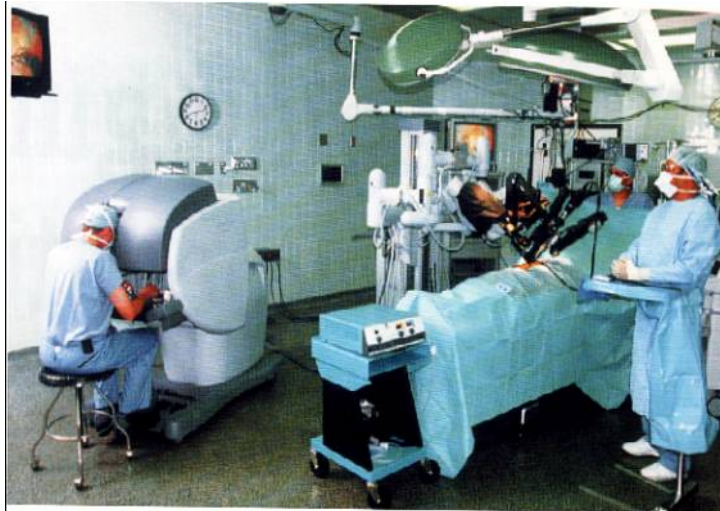
Habría que añadir además que puesto que el cirujano observa el resultado de sus movimientos a través de una pantalla de televisión, existe una pérdida de correlación cinestésica, que dificulta la correcta ejecución de los movimientos en cuanto a amplitud y dirección al verse los resultados de éstos en direcciones espaciales diferentes a las direcciones en que realmente se realizan.

En definitiva, la cirugía mínimamente invasiva, si bien tiene importantes beneficios para el paciente, presenta grandes desventajas para el cirujano, que ve mermada su capacidad de actuación y de sensación.

Buena parte de estos inconvenientes pueden ser resueltos con ayuda de la tele-robótica y de las técnicas habitualmente asociadas a ella. La pérdida de la sensación de tacto motivada por el uso de largos instrumentos que pasan a través del tejido del paciente, puede ser suplida mediante la presentación al cirujano de fuerzas generadas de manera artificial a través de las medidas tomadas por unos sensores dispuestos en el extremo de los instrumentos. Estos en lugar de ser directamente manipulados por el cirujano, pueden ser manipulados por tele-robots, lo que permite disminuir el cansancio del cirujano, eliminar su temblor fisiológico, y aumentar la precisión haciendo uso de un adecuado escalado de los movimientos efectuados por el cirujano y los reproducidos por el robot. Como caso particular de instrumento a posicionar de manera no automática, puede considerarse el propio endoscopio, que puede ser manipulado a través de órdenes directas dadas por el cirujano buscando mantener el mejor punto de vista.

Del mismo modo la imagen captada por el endoscopio puede ser mejorada por técnicas de procesamiento de imágenes y complementada mediante realidad aumentada. El uso de dos cámaras puede permitir una adecuada presentación tridimensional de las imágenes al cirujano.

El empleo de estas técnicas propias de la telerrobótica para la cirugía mínimamente invasiva da paso a la posibilidad de realizar operaciones a distancia. En este caso deben adicionalmente superarse los problemas derivados de las posibles limitaciones en las comunicaciones entre el escenario de la operación y el lugar desde el que el cirujano realiza el control de la operación.



*Ilustración 8. Sistema Da Vinci*

Como ejemplo de cirugía laparoscopia robotizada, puede citarse el sistema Da Vinci, desarrollado por Intuitive Surgical Inc. Este sistema utiliza 2 tele-robots con mando háptico manejado por el cirujano, mientras muestra a este la imagen captada por un sistema de cámaras laparoscópicas, a través de un sistema de visualización 3D. El sistema fue utilizado por primera vez en una extracción de vesícula en Julio del 2000.

## **6. Robótica submarina**

El entorno submarino es otro de los ambientes hostiles y arriesgados donde un robot puede aportar importantes ventajas, evitando riesgos a los seres humanos y ampliando la operatividad de las misiones.

Un robot submarino fundamentalmente debe incorporar la capacidad de desplazarse y maniobrar en el interior del agua. Además suele incluir un sistema de cámaras de televisión, dotadas de potentes focos para tratar de observar el entorno del robot aún en condiciones de gran oscuridad o turbiedad del agua. Adicionalmente el robot incluye uno o dos brazos manipuladores que le permiten tomar muestras y manipular herramientas u objetos.

Dos aplicaciones han sido las que en el pasado han motivado el mayor número de desarrollo de robots submarinos: Los tendidos de cable para comunicaciones y las plataformas oceánicas para la extracción de petróleo y gas. No obstante en la actualidad hay otras aplicaciones que se benefician del uso de robots en el fondo marino. De entre ellas pueden citarse:

- La investigación oceánica ya sea en sus facetas biológica o geológica
- Las aplicaciones de tipo militar, especialmente centradas en la vigilancia y localización y neutralización o en su caso recuperación de minas o armamento hundido
- La localización y rescate de barcos y aviones hundidos
- La inspección y reparación de buques o de construcciones con estructura sumergida (presas, puentes, etc.)

La investigación del fondo del océano precisa de robots con capacidad de sumergirse a profundidades destacables. Además de cámaras de televisión que permiten observar el fondo marino, estos robots pueden contar con otros instrumentos como termómetros, medidores de presión o equipos de medida de las corrientes marinas. También es frecuente la inclusión de brazos manipuladores teleoperados para facilitar tareas como la toma de muestras.



*Ilustración 9. Robot submarino Victor 6000 (IFREMER)*

El robot Victor 6000 es un robot submarino desarrollado por el IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer) especialmente diseñado

para misiones de exploración de los fondos oceánicos hasta una profundidad de 6000 metros. Se une al barco nodriza, desde el que se le teleopera, mediante un cable de un alcance máximo de 8500 metros.

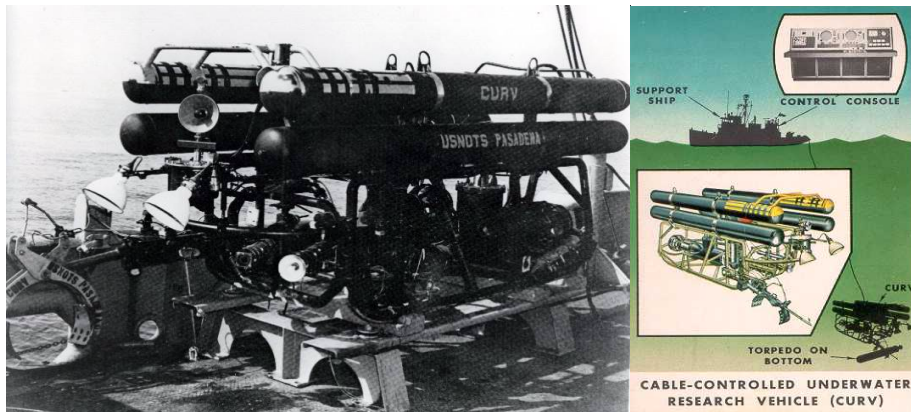


*Ilustración 10. Robot submarino SEAOTTER*

Para las misiones de localización e inspección de barcos así como de estructuras sumergidas (puentes, plataformas, etc.) , existen pequeños robots submarinos como el SeaOtter mostrado en la figura que está equipado con 4 motores de propulsión (2 motores para moverse hacia delante/reversa y 2 motores para moverse vertical y lateralmente). Está equipado con una cámara de televisión que permite transmitir imágenes de video a la superficie, donde pueden ser monitorizadas o grabadas. El operario tiene la posibilidad de controlar mediante un sistema de JoyStick el movimiento del robot submarino y la orientación de la cámara y sistema de iluminación. Un robot submarino similar a este, pero con una capacidad de inmersión superior : el Jasón Jr. fue utilizado conectado a un minisubmarino tripulado (el Alvin) a principio de 1986 para inspeccionar el Titanic hundido a 3800 metros de profundidad.

En Julio del año 1966, España se vio involucrada en el empleo de un robot submarino con fines militares. El robot CURV (Cable Underwater Recovery Vehicle ) fue utilizado para localizar y recuperar la bomba H hundida a pocos kilómetros de la costa de la localidad de Palomares (Almeria), como consecuencia de la colisión 2 aviones de las fuerzas aéreas de los EEUU a pocos,. Tras varios intentos frustrados

de realizar la localización y recuperación con submarinos tripulados, finalmente fue el CURV quien realizó el rescate, utilizando sus telemanipuladores.



***Ilustración 11. Robot CURV Utilizado en Palomares (Almeria) en 1966***

De igual manera a como ocurre en otras aplicaciones, los robots submarinos pueden operar de manera teleoperada o de manera autónoma. En el primer caso, conocido como ROV (Remoted Operated Vehicle), el robot queda permanentemente unido, mediante una serie de cables, al barco de apoyo o a un minisubmarino intermedio que a su vez queda unido al barco. Estos cables permiten la transmisión de señales de control y de las medidas tomadas por los sensores dispuestos en el robot, la transmisión de la potencia eléctrica para los sistemas del robot y de manera adicional, el disponer de un cable que permita la recuperación del robot submarino mediante su tracción. Desde el puesto de mando remoto, el operador controla los movimientos del robot y en el caso de que los hubiera, de sus manipuladores, al vez que recibe la información sensorial captada por el robot.

Al disponer de una transmisión de la potencia desde el barco de apoyo, el tiempo en que pueden permanecer un ROV operando es ilimitado (no se depende de una batería), sin embargo el cable utilizado origina limitaciones relacionadas con el radio de alcance en el que pueden operar y con el importante peso del cable, que adicionalmente, por motivo de las corrientes marinas, puede dificultar los desplazamientos y la operación a robot parado. Asimismo es importante tener en consideración que las comunicaciones efectuadas entre el robot y la base de control, se pueden ver afectadas de importantes retrasos debidos a la longitud del cable.



Los ROV, son primordialmente utilizados en las aplicaciones relacionadas con la construcción y el mantenimiento de plataformas petrolíferas, en las que no es necesario un radio de alcance elevado.

Por su parte los robots submarinos autónomos, conocidos como AUV (Autonomous Underwater Vehicle) pueden desarrollar una tarea preprogramada, interactuar con su entorno, cumplir su objetivo y retornar a un lugar predesignado, sin intervención del operador. A diferencia de los ROV, no utiliza cable umbilical, precisando de una importante componente hardware y software destinada a su navegación autónoma.

## **7. Otras aplicaciones**

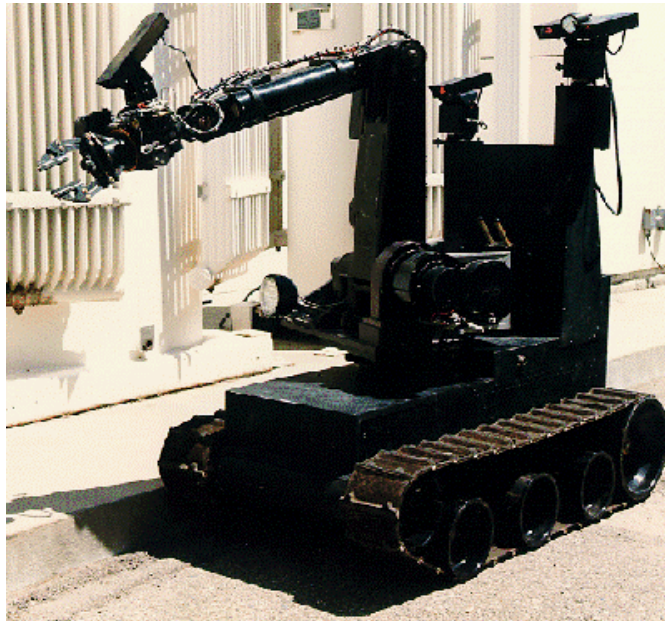
Como anteriormente se indicó el número de aplicaciones potenciales de los robots de servicio es destacable. Además de las ya examinadas, caben destacar 2 más por su grado de incidencia y en su caso por su potencialidad.

En primer lugar es preciso destacar las aplicaciones relacionadas con el sector nuclear. Durante la época de la guerra fría, las investigaciones desarrolladas entorno a la energía nuclear, motivaron la aparición de los primeros tele-manipuladores destinados a la manipulación de elementos radioactivos sin riesgo para el operario.

En la actualidad los robots se continúan utilizando para la manipulación de probetas y residuos radioactivos, habiéndose incorporado además a tareas de inspección y mantenimiento en instalaciones con contaminación radioactiva (centrales nucleares), así como a tareas de intervención en caso de accidente (Three Miles Island 1976, Chernobil 1986).

Estos robots de intervención suelen consistir en un vehículo con mando remoto mediante cable que lleva una o varias cámaras de televisión y un manipulador también tele-operado. Asimismo puede incorporar una serie de herramientas auxiliares adecuadas para poder superar las tareas que se pretende llevar a cabo (elementos de corte, instrumentos de medida, etc.). Similares a estos robots son los

utilizados en tareas de rescate y seguridad ciudadana (desactivación de explosivos por ejemplo).



**Ilustración 12. Robot de Intervención**

La otra aplicación a destacar es la robótica personal. Los robots pueden colaborar dentro de nuestras casa y oficinas en multitud de tareas, que van desde el simple ocio (robots mascotas), pasando por el desarrollo de tareas de funciones domésticas (aspiradora, corte de césped), hasta tareas de vigilancia y seguridad. Estos robots, tecnológicamente viables, están experimentando un grado de aceptación creciente, estando aún limitada su proliferación por el coste todavía elevado.



**Ilustración 13. Robot de vigilancia y robot mascota**

## 8. Conclusiones

Los robots han ampliado su espectro de aplicaciones saliendo de los ambientes estructurados de las fábricas, sustituyendo al ser humano en tareas arriesgadas, llegando a donde él no puede llegar o combinando sus especiales capacidades de precisión y fuerza con la flexibilidad e inteligencia del ser humano.

En el futuro, la mejora en las interfases de comunicación entre el robot y el usuario, la mejora en la capacidad de captación de información sensorial y en su procesamiento y las nuevas posibilidades que pueda aportar la Inteligencia Artificial, resultarán en una extensión del concepto de robot así como en un uso más amplio de los mismos en actividades muy diversas.

## 9. Referencias

- [1] IEEE and Fraunhofer IPA Database on Service Robots: <http://www.ipa.fhg.de/srdatabase/>
- [2] Robotian: A Cyber robot museum: <http://www.robotian.com/>
- [3] Nasa Space Telerobotics Programe [http://ranier.oact.hq.nasa.gov/telerobotics\\_page/telerobotics.shtm](http://ranier.oact.hq.nasa.gov/telerobotics_page/telerobotics.shtm):
- [4] International Association for Automation and Robotics in Construction (IAARC): <http://www.iaarc.org/>
- [5] Integrated Surgical Systems, Inc.: <http://www.robodoc.com/>
- [6] Autonomous Underwater Vehicles Resources: <http://www.cacs.louisiana.edu/~kimon/AUV/>