

INSTITUTO DE ESPAÑA
REAL ACADEMIA NACIONAL DE FARMACIA

LA HUELLA HUMANA: CRISIS DE BIODIVERSIDAD, SU TRATAMIENTO

DISCURSO DE LA
EXCMA. SRA. D.^a YOLANDA BARCINA ANGULO

LEÍDO EN LA SESIÓN DEL DÍA 16 DE FEBRERO DE 2017
PARA SU INGRESO COMO ACADÉMICA DE NÚMERO

Y CONTESTACIÓN DEL
EXCMO. SR. D. BENITO DEL CASTILLO GARCÍA



Madrid - 2017

**INSTITUTO DE ESPAÑA
REAL ACADEMIA NACIONAL DE FARMACIA**

**LA HUELLA HUMANA:
CRISIS DE BIODIVERSIDAD,
SU TRATAMIENTO**

DISCURSO DE LA
EXCMA. SRA. D.^a YOLANDA BARCINA ANGULO
LEÍDO EN LA SESIÓN DEL DÍA 16 DE FEBRERO DE 2017
PARA SU INGRESO COMO ACADÉMICA DE NÚMERO

Y CONTESTACIÓN DEL
EXCMO. SR. D. BENITO DEL CASTILLO GARCÍA



Madrid, 2017

Depósito legal: M. 3548-2017

ISBN: 978-84-946424-1-8

INDICE

1. Agradecimientos.....	7
2. Elección del tema.....	13
3. Introducción	15
3.1. Antecedentes históricos de la crisis ambiental	15
3.2. Hitos de la crisis ambiental desde la perspectiva de la farmacia.....	16
4. Diversidad biológica y servicios de los ecosistemas.....	27
4.1. Diversidad biológica y factores antropogénicos	28
4.2. Evaluación de los ecosistemas del milenio y diversidad biológica.....	34
4.3. Diversidad biológica y recursos para la farmacia: biopros- pección	54
4.4. Tendencias actuales en la bioprospección	71
4.5. Cambio climático y riesgos para la salud	87
4.6. Crisis del agua: el cambio climático y su incidencia en la salud y la diversidad biológica	93
4.7. Contaminantes emergentes: disruptores endocrinos.....	125

5. Responsabilidad social corporativa y desarrollo sostenible en la actividad farmacéutica.....	143
5.1. Huella ecológica corporativa en la industria farmacéutica..	149
5.2. Huella de carbono corporativa	155
5.3. Análisis de ciclo de vida como herramienta para el desarrollo sostenible en la industria farmacéutica.....	162
6. A modo de coda	189
7. Bibliografía.....	193
7.1. Agradecimientos.....	193
7.2. Introducción	193
7.3. Diversidad biológica.....	194
7.4. Responsabilidad social, corporativa y desarrollo sostenible.	197
8. Contestación del Excmo. Sr. D. Benito del Castillo García.....	201

1. Agradecimientos

Excmo. Sr. Presidente
Excelentísimas Sras. y Sres. académicos,
Queridos amigos,
Señoras y señores:

El 19 de noviembre de 1957, pocos días después de recibir el Premio Nobel de Literatura, Albert Camus se dirigió por carta al maestro que le había dado clase durante sus años escolares en Argel. Quizá algunos de ustedes conozcan el texto, pero como es breve y emocionante, me voy a permitir leérselo:

Querido señor Germain:

Esperé a que se apagara un poco el ruido de todos estos días antes de hablarle de todo corazón. He recibido un honor demasiado grande, que no he buscado ni pedido. Pero cuando supe la noticia, pensé primero en mi madre y después en usted. Sin usted, sin la mano afectuosa que tendió al niño pobre que era yo, sin su enseñanza no hubiese sucedido nada de esto. No es que dé demasiada importancia a un honor de este tipo. Pero ofrece por lo menos la oportunidad de decirle lo que usted ha sido y sigue siendo para mí, y de corroborarle que sus esfuerzos, su trabajo y el corazón generoso que usted puso en ello continúan siempre vivos en uno de sus pequeños escolares, que, pese a los años, no ha dejado de ser un alumno agradecido. Un abrazo con todas mis fuerzas,

Albert Camus

Les había anunciado que la carta era breve y emocionante, y también me atrevo a calificarla de oportuna: en esta circunstancia tan concreta y tan

singular a la que me ha conducido la generosidad de los académicos doña María Cascales, don Benito del Castillo y don Fidel Ortega, mi principal sentimiento es igualmente de gratitud hacia ellos. Como Albert Camus, yo también me he beneficiado de muchas “manos afectuosas” desde que a los 17 años me matriculé en la Facultad de Farmacia de la Universidad de Navarra. Inicié entonces el recorrido tan insospechado como interesante que me ha traído hasta esta Academia donde hace 280 años —en aquella época con el nombre de Real Colegio de Boticarios de Madrid—ya se atendían las inquietudes sanitarias y científicas de los farmacéuticos españoles.

Una de las manos decisivas ha sido la de Jesús Larralde Berrio, miembro de esta Academia desde el 15 de octubre de 1992. Aquel día yo asistí en esta misma sala a su toma de posesión. Como muchos de ustedes ya saben, Jesús Larralde se encuentra ingresado en Pamplona desde hace cinco años, víctima de un ictus. Es improbable que pueda hacerse cargo de lo que hoy estamos celebrando, pero hay algo que tengo muy claro: él fue el maestro sin el que seguramente “no hubiese sucedido nada de esto”, por decirlo con palabras de Camus. Él me animó a hacer la tesis, la dirigió, y fue alentando todos mis pasos hasta que obtuve la cátedra. En octubre de 1991, durante un sencillo homenaje que le tributó la Facultad de Farmacia de la Universidad de Navarra, la entonces decana, María Pilar Fernández Otero, aseguró que Jesús Larralde había sabido convertir su profesión en un “permanente servicio a la persona, facilitándole el camino, yendo por delante”. Mi biografía académica y profesional justifica de modo elocuente esa afirmación. Se explicó también en aquel homenaje que el profesor Larralde había sabido conjugar “el esfuerzo personal con una visión optimista, sin arredrarse ante lo difícil, ejercitando esa virtud de la que hoy estamos tan necesitados, y que se llama fortaleza”. Es verdad: soy muy consciente de que he tenido la suerte de disfrutar de “sus esfuerzos”, de “su trabajo” y de su “corazón generoso”, como le pasó a Camus con el veterano maestro de sus años escolares.

Hay otro aspecto que también le debo al profesor Larralde: su buen humor. Cuando cumplió 90 años —hace ahora siete—, otro catedrático de la Universidad de Navarra, Rafael Domingo, escribió que a Jesús Larralde le gusta repetir, con un punto de ironía, que el mayor problema que ha tenido en su vida es “haberlo pasado demasiado bien”. Rafael Domingo contaba también de él que “es un superviviente” y que fueron “su extraordinaria capacidad de trabajo y su desinteresado espíritu de servicio” los que le permitieron superar algunos contratiempos a veces notables “con la sencillez de quien piensa que no está haciendo nada excepcional”. Me parece que esa

lección es tan importante o más que los consejos universitarios o la orientación científica que me brindó su cercanía.

Supongo que hoy estaría satisfecho y hasta orgulloso —¡ojalá!— si aún tuviese capacidad para percibir y valorar lo que ocurre a su alrededor. Aspiro a llevar el testigo que me entregó con una dedicación y una magnanimidad que al menos se acerquen a las suyas.

Voy a tener la suerte de reencontrarme en la Real Academia con otro de mis maestros: don Antonio Monge, miembro de número de esta institución desde el 23 de abril de 1992. Él era el director del Departamento de Química Orgánica y Farmacéutica cuando yo estudiaba la carrera en la Universidad de Navarra. En su discurso de toma de posesión, Antonio Monge habló de la investigación científica en la relación universidad-empresa, un tema que guarda una relación muy estrecha con mi propia trayectoria profesional. “La empresa farmacéutica —dijo entonces— es posiblemente el primer ejemplo de actividad industrial en la que la investigación aparece como algo imprescindible”. Más aún, añadió, “es en la investigación donde se encuentran las posibilidades y el sentido de la relación entre la universidad y la industria farmacéutica”. Lo cito porque ese es justamente el escenario en el que me he movido. La Universidad y la investigación casi han sido para mí una única realidad. Creo que también en este aspecto he seguido la estela de mis maestros.

Esa doble dedicación no es algo novedoso o extraordinario. En su libro *Reglas y consejos sobre la investigación científica*, Santiago Ramón y Cajal defiende la compatibilidad del ejercicio profesional —la docencia— y la labor investigadora. “Poco hay que esforzarse —sostiene— en demostrar que, lejos de excluirse, ambas tareas se completan e iluminan mutuamente. Para el amante de la observación, la práctica profesional constituye el mejor aliado del laboratorio. Aquélla proporciona la materia inquisitiva, a cambio de la cual éste presta al ejercicio profesional normas teóricas y soluciones prácticas”. Por cierto, su libro, traducido hace ya muchos años a diferentes idiomas, es una versión ampliada del discurso que pronunció en 1897 con motivo de su ingreso en la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Explica también Ramón y Cajal que “la producción del hombre de ciencia, como toda actividad del espíritu, hállese rigurosamente condicionada por el medio físico y moral” y que “con razón se ha dicho que el sabio es planta delicada susceptible de prosperar solamente en un terreno especial formado por el aluvión de secular cultura y labrado por la solicitud y estimación sociales”.

Puedo decir que he tenido la fortuna de disfrutar de ese “terreno especial” en la Universidad de Navarra, a la que debo mi formación como investigadora y el rumbo que ha ido tomando mi biografía, y desde 1991 en la Universidad Pública de Navarra (UPNA), donde trabajo en la actualidad con compañeros de excepcional calidad humana entre los que no puedo dejar de citar especialmente a doña Paloma Torre, doña María José Beriain y don Francisco Ibáñez. La UPNA apenas llevaba seis años en marcha cuando obtuve la cátedra de Nutrición y Bromatología en 1993, y he tenido la suerte de asistir a su crecimiento y de aportar mi esfuerzo desde distintos cargos y responsabilidades.

Sería muy extenso mencionar a todos mis colegas de tantos años. Todos ellos me han enriquecido, de todos he aprendido algo. Sí me gustaría citar a José Luis Gil, que fue consejero de Medio Ambiente de Cantabria a la vez que yo ocupaba el mismo cargo en Navarra, y que hoy también es profesor universitario. Hemos mantenido trayectorias paralelas y siempre me he beneficiado de sus conocimientos y de ayuda.

Quiero recordar también a mi predecesor en la medalla número 31 de esta Academia: don Miguel Rubio Huerto, fallecido en Madrid en agosto de 2013. En este caso se trata de un recuerdo entreverado de nostalgia y admiración.

En la semblanza que escribieron de él José Ramón Díaz-Ruiz y Dionisio López Abella, discípulos suyos y profesores de investigación del CSIC, explicaban que Miguel Rubio tenía una personalidad singularmente excepcional. “Por las noches —lo ilustraban— dormía muy poco, tres o cuatro horas, no necesitaba más, decía él, por lo que dedicaba el resto del tiempo a leer, libros de todo tipo, poesía, ensayo, novela, historia, ciencia, etcétera, libros que iba acumulando y guardaba en su casa de campo de La Fregeneda (Salamanca) y que sin duda enriquecieron su acervo cultural. Posiblemente por esto, entre sus rasgos destacaba su vasta cultura multidisciplinar, con un inmenso caudal de conocimientos que se hacía patente en las reuniones distendidas en compañía de sus discípulos y colaboradores, que tanto le gustaban, junto a unas cañas de cerveza bien fría, después de la jornada de trabajo en el laboratorio”.

Me he extendido en la cita porque creo que la suma de esas cualidades muestra a un académico en el sentido más amplio y tradicional de la expresión, a un hombre comprometido con los problemas de su tiempo y de su profesión, pero entregado igualmente a sus amigos, a la belleza, a la cultura. Puesto que en lo sucesivo voy a llevar la misma medalla que él custodió desde su ingreso en la Academia en 1971, trataré de mirarme en el espejo de sus hábitos y de sus inquietudes.

Hay además otro nexo que me une de alguna forma a don Miguel Rubio: él fue uno de los discípulos más destacados de don Lorenzo Vilas y de don José María Albareda en aquellos compases iniciales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, adonde llegó después de haber cursado sus primeros estudios en la Institución Libre de Enseñanza. Con el tiempo, Albareda fue nombrado rector de la Universidad de Navarra, y ocupó el cargo hasta su muerte en 1966, hace poco más de cincuenta años. Allí fue también decano mi maestro Larralde y allí me inicié yo en la Farmacia, como ya he mencionado.

En la sesión de recuerdo y de homenaje a Miguel Rubio que se celebró en esta misma sede el 31 de octubre de 2014, don Bartolomé Ribas Ozanas afirmó que su trayectoria profesional es “el ejemplo simbólico de cómo la farmacia debe estar unida a la investigación fundamental para extraer las consecuencias de orden práctico que alimentan a la profesión farmacéutica”.

Esa cualidad ejemplar me permite adelantar una de las aspiraciones que traigo a este insigne foro: la de sumarme al empeño por trascender el ámbito académico para conseguir que nuestras reflexiones, nuestras sugerencias o nuestras intuiciones supongan mejoras concretas en la sociedad a la que tratamos de servir. Sé que esto forma parte del ADN de la institución a la que hoy me incorporo. He podido leer que en octubre de 2015 el doctor Antoni Esteve recordó en esta Real Academia que “la responsabilidad social forma parte de la identidad de la industria farmacéutica”. Y lo mismo podría decirse de otros campos y aspectos de la Farmacia, desde la investigación hasta la docencia pasando por la historia o el *marketing*. Yo misma he sido testigo de iniciativas que han surgido en esta casa y que han tenido un alcance un muy real, valga la expresión. No me parece exagerado afirmar que el compromiso de la ciencia con la sociedad es hoy más necesario que nunca. La Unesco lo resumió con términos rotundos en su *Declaración sobre la Ciencia y el uso del saber científico*, aprobada en 1999. “Los países y los científicos del mundo —se lee en el preámbulo— deben tener conciencia de la necesidad apremiante de utilizar responsablemente el saber de todos los campos de la ciencia para satisfacer las necesidades y aspiraciones del ser humano sin emplearlo de manera incorrecta”.

Y en una de las conclusiones todavía se concreta este reto un poco más: “La práctica de la investigación científica y la utilización del saber derivado de esa investigación deberían estar siempre encaminadas a lograr el bienestar de la humanidad, y en particular la reducción de la pobreza, respetar la dig-

nidad y los derechos de los seres humanos, así como el medio ambiente del planeta, y tener plenamente en cuenta la responsabilidad que nos incumbe con respecto a las generaciones presentes y futuras. Todas las partes interesadas deben asumir un nuevo compromiso con estos importantes principios”.

Pienso además que soplan vientos favorables para avanzar en ese empeño. El “medio ambiente” es una de las aspiraciones que menciona la Unesco y he de agradecer al que fue su director general entre 1987 y 1999, don Federico Mayor Zaragoza, académico de esta real institución desde el 10 de junio de 1976, que me sugiriese profundizar en esta materia al regresar a mí actividad universitaria.

Me parece también significativo que en la encíclica *Laudato si'* se lea, por ejemplo, que “es necesario invertir mucho más en investigación para entender mejor el comportamiento de los ecosistemas y analizar adecuadamente las diversas variables de impacto de cualquier modificación importante del ambiente”.

En este escenario, pienso que la Farmacia puede llevar a cabo una aportación decisiva. Es cierto que el diagnóstico resulta inquietante y hasta voluble, pero ese es precisamente el estímulo que necesitamos para diseñar un remedio eficaz. Y de eso quería hablarles.

Pero antes de entrar en materia, querría transmitirles una consideración que me hecho estos días y que creo que es pertinente que también exponga aquí. He mencionado a mis maestros y a mis colegas de universidad, a los académicos que me propusieron para el cargo y a algunos de los de me han precedido en esta insigne institución: he manifestado la gratitud que les debo a todos ellos porque me parece que se trata de un deber de justicia.

Junto a ellos, me he acordado durante las últimas semanas de tantas y tantas personas que de un modo u otro me han conducido hasta este atril desde el que ahora les hablo. Me considero afortunada: mi vida ha sido la que ha sido porque he tenido cerca a mucha gente buena que me ha ayudado, me ha orientado y me ha acompañado. Y entre todos ellos, tengo que mencionar a mis padres, a mi querido hijo Oscar, y de un modo muy especial a Manolo. Él ha hecho que su familia sea también la mía y como Académico de número de la Real Academia de Jurisprudencia y Legislación se hace especialmente cargo de la ilusión que me envuelve en este momento. Ellos forman mi familia más inmediata, el escenario principal de mi biografía. Ellos son los responsables últimos de que este paso que hoy estoy dando haya sido posible.

Y ahora sí, paso a la parte *científica* de mi intervención.

2. Elección del tema

LA HUELLA HUMANA: CRISIS DE BIODIVERSIDAD, SU TRATAMIENTO

Mi reciente reincorporación a la vida académica tuvo un comienzo obligado en forma de necesaria reflexión personal acerca del camino a recorrer para que mi docencia tenga la calidad que requiere una ciencia como la farmacia con retos exigentes, en permanente y vertiginoso cambio, en el marco de una universidad de prestigio y en el contexto de un país que cuenta con científicos, profesionales e industria de primer nivel, y de lo que es su mejor exponente quienes forman parte de esta Real Academia.

Ese proceso introspectivo incluyó el esfuerzo tanto de informarme y analizar la naturaleza y alcance de esos cambios, concretamente en mi área de especialidad, la nutrición y bromatología, como de valorar de qué manera, en qué medida y con cuánto interés la experiencia vivida por mí en las responsabilidades asumidas fuera del ámbito universitario pueden servir a quienes deben ser y son en mi caso los destinatarios de mi compromiso y esfuerzo académico, los hoy estudiantes y futuros profesionales en especialidades cada vez más interdisciplinarias.

Este examen de conciencia sobre mi periplo profesional me llevó al tiempo en que el recorrido fue inverso al recientemente emprendido, cuando asumí responsabilidades de gestión en medio ambiente justo en la época en que en esta materia se superaban enfoques meramente correctivos y se abordaba una política ambiental integradora de este factor en las políticas sectoriales, se producía la toma en consideración de preceptos acuñados pero no consolidados tal que el desarrollo sostenible, la conservación de la biodiversidad; y comenzaban a adquirir puestos principales en la agenda ambiental internacional problemas como el cambio climático.

En el ejercicio de esas responsabilidades tuve ocasión de conocer cuáles eran los obstáculos a superar para alcanzar el paradigma del desarrollo sostenible. Evaluación estratégica de planes y programas, estrategia de conservación de la biodiversidad, prevención y adaptación al cambio climático,... El camino contrario a un modelo de desarrollo que olvidaba los riesgos y consecuencias de no considerar el capital natural, los servicios de los ecosistemas, los impactos en la salud humana, en el bienestar y en el porvenir de generaciones futuras, de la pérdida de biodiversidad y del calentamiento global. Mi reto docente es, en el amplio e interdisciplinar ámbito de la bromatología y nutrición, incorporar esa visión, y este proceso coincidente con otro reto mayor, cual es superar con éxito mi incorporación a esta Academia, me inclino a considerar la oportunidad de que ese reto consista en aportar una visión rigurosa de cómo los retos ambientales inciden en la actividad farmacéutica profesional y científica y las respuestas que esta puede aportar para contribuir a un mundo más seguro y sostenible no solo en la dimensión ambiental si no con carácter de urgencia más solidario y equitativo.

3. Introducción

3.1. Antecedentes históricos de la crisis ambiental

Puede considerarse que los primeros efectos notables de la actividad humana en su entorno ambiental surgieron hace aproximadamente unos 12.000 años, en el Neolítico, cuando los seres humanos evolucionaron de un modelo migratorio basado en la caza, la pesca y la recolección a otro predominantemente sedentario apoyado en la agricultura y la ganadería por pastoreo. Esta etapa, conocida como “Revolución Neolítica”, trajo como consecuencia una mayor presión sobre los recursos edáficos, hídricos y forestales, así como una modificación del medio ambiente por erosión. Por tanto, esta etapa histórica podría considerarse la primera crisis ambiental de origen antropogénico.

La preocupación por el impacto de la actividad humana sobre el medio ambiente no es un hecho reciente en la historia de la civilización, ya que está documentada desde la Antigüedad. Por ejemplo, en el siglo V a.C. Platón ya se quejaba de la deforestación en los alrededores de Atenas y de sus efectos. O el cordobés Lucio Anneo Séneca describía la contaminación del aire en la ciudad de Roma, resultante de la madera usada como combustible en los hogares. A la contaminación del aire se sumaba la de los suelos y aguas como consecuencia de las explotaciones mineras, en especial las de hierro, plomo y cobre.

A medida que se producían los avances científico-tecnológicos y éstos se incorporaban a la cultura, se intensificó la deforestación y la contaminación ambiental. Así, la eliminación permanente de bosques en muchas regiones europeas durante la Edad Media se acentuó por dos factores: por la mayor necesidad de suelo para extender la ganadería trashumante y la agricultura extensiva y por la creciente demanda de madera para las actividades mineras y metalúrgicas. El impacto ambiental de las actividades humanas en las culturas

preindustriales tiene asociadas dos consecuencias. Una es la contaminación del entorno ambiental y su efecto en la salud, especialmente a través de las aguas, consideradas transmisoras de enfermedades y muerte cuando estaban contaminadas. Otra es el conflicto social desencadenado por los perjuicios económicos atribuidos a la contaminación de las aguas como resultado de una actividad gremial, agrícola o de saneamiento urbano.

Hay que esperar al siglo XVIII, cuando se desencadena la llamada “Primera Revolución Industrial”, para que se produzca la segunda crisis medioambiental asociada a la actividad humana. La migración desde el medio rural al urbano, con el consiguiente crecimiento de las ciudades y sus pobladores, se acompañó de una concentración fabril, de una intensificación en la explotación de recursos naturales (en especialmente el carbón) y de una mayor generación de residuos urbanos e industriales. La consecuencia fue el deterioro de las aguas, el aire y el suelo en torno a las grandes ciudades. A esta crisis, que alcanzó sus cotas máximas en el siglo XIX y que coincidió con el desarrollo de la industria química (textil, metalúrgica, electroquímica, orgánica, agrícola y farmacéutica), también contribuyó tanto el transporte ferroviario como el marítimo.

3.2. Hitos de la crisis ambiental desde la perspectiva de la farmacia

En las sociedades urbanizadas, en los países con economías desarrolladas en los que el sector terciario es el preponderante, la dependencia humana de los ecosistemas no es percibida de forma evidente y en cualquier caso lo es en mucha menor medida que en el mundo rural y en economías de subsistencia. En estas los servicios prestados por los ecosistemas, necesarios para su supervivencia, son tomados directamente de ellos sin apenas o con muy simples transacciones mercantiles. Teóricos de la economía ambiental afirman que esa desconexión entre el consumo de bienes proporcionados por el mundo natural, pero en un contexto geográfico y socioeconómico apenas conocido, es la causa de que la economía haya ignorado las limitaciones del modelo económico vigente hasta muchos años después de que la crisis ecológica fuera evidente.

En el caso de la ciencia e industria farmacéutica sus orígenes son ejemplo de beneficio de lo que hoy se conoce como “servicios de los ecosistemas”, aprovechamiento de los recursos ofrecidos por la diversidad biológica, desde el conocimiento de las propiedades curativas de las plantas que se atribuye a

la figura mitológica de Escolapio hasta la prolífica actividad de los herboristas en los monasterios medievales en colaboración con los “físicos”, actividad de preparación de medicamentos que a estos últimos por cierto les prohibió un decreto municipal en Brujas. Desde entonces el progreso de la ciencia farmacéutica ha permitido sintetizar compuestos con propiedades farmacológicas previamente solo disponibles a partir de productos naturales, mejorar sus propiedades y obtener artificialmente nuevos medicamentos. Sería un error que esta realidad llevara a considerar que el tiempo de la dependencia farmacéutica de la naturaleza finalizó, solo por el hecho de que los avances en el estudio de la diversidad biológica ponen de manifiesto nuevas posibilidades de compuestos con aplicación médica, advierten que con seguridad existen en la naturaleza muchos más por descubrir y señalan el riesgo de que las amenazas actuales de pérdida de diversidad biológica impidan llegar a conocerlos y utilizarlos.

Hasta la fecha han sido las especies pertenecientes a las angiospermas la principal fuente de recursos como alimentos, medicamentos, cosméticos y fibras, pero ahora se sabe que este grupo constituye solo una muy pequeña fracción del número total de especies en la biosfera y que ecosistemas muy deficientemente conocidos hasta ahora como los océanos se confía permitan descubrir del orden de dos millones de nuevas especies en una o dos décadas. Pero también grupos tan ampliamente estudiados como los mamíferos o reptiles han dado la sorpresa de recientes descubrimientos.

Ya en 1989, en su encuentro celebrado en Gotemburgo, la Sociedad Internacional de Ecología Química (*International Society of Chemical Ecology, ISCE*), advirtió que “Los productos naturales constituyen un tesoro de inmenso valor para la humanidad. La alarmante actual tasa de extinción de especies está agotando rápidamente este tesoro, con consecuencias potencialmente desastrosas”. La ISCE insta a que se adopten medidas de conservación en todo el mundo para detener la ola de extinción de especies, y propone la iniciación de un gran número de estudios sobre la diversidad biológica con el objetivo de descubrir nuevos productos químicos de uso en la medicina, la agricultura y la industria: “Estos esfuerzos de investigación deben implicar una asociación de naciones en desarrollo y desarrolladas, en tal forma que los beneficios económicos se distribuyan de una forma justa”.

Las circunstancias descritas en el apartado anterior justifican suficientemente la necesaria implicación de nuestro colectivo profesional en las tareas descritas pero cuando se trata de temas que afectan a toda la humanidad, que

pueden determinar o condicionar su futuro y encierran una gran complejidad en un contexto interdisciplinar, el compromiso adquiere las características de un desafío ético que precisa conocer, como se describe a continuación, los antecedentes y estado actual de la crisis ambiental y de la diversidad biológica.

Cuando el Club de Roma encargó a un grupo de investigadores del Instituto Tecnológico de Massachusetts, dirigido por Dennis L. Meadows, elaborar un informe que diese respuesta a preguntas tales como la existencia de un límite al crecimiento, si las pautas de consumo de recursos existentes eran viables, o cuáles eran los puntos críticos que comprometían el modelo, la respuesta fue concluyente y su publicación en marzo de 1972 bajo el título “Los Límites del Crecimiento” fue en estos términos: “Si la industrialización, la contaminación ambiental, la producción de alimentos y el agotamiento de los recursos mantienen las tendencias actuales de crecimiento de la población mundial, este planeta alcanzará los límites de su crecimiento en el curso de los próximos cien años. El resultado más probable sería un súbito e incontrolable descenso, tanto de la población como de la capacidad industrial”. Esta que puede ser considerada “una alerta temprana” sobre la insostenibilidad del sistema, quizás por llamar la atención en dónde la sensibilidad social es mayor, en términos de riesgo estrictamente económico, ponía el énfasis en el agotamiento de materias primas básicas sin considerar aún la afección a los ecosistemas y los servicios que estos prestan.

Tampoco quedan dudas de cuáles eran las inquietudes de los gobiernos y organizaciones internacionales respecto de la crisis ambiental cuando las Naciones Unidas convocaron el primer evento que puso a esta problemática en la agenda internacional bajo la denominación “Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano”, convocada en Estocolmo en el año de 1972. La versión oficial del evento asegura que Estocolmo articuló el derecho de las personas a vivir en un “medio ambiente de calidad tal que les permita llevar una vida digna y gozar de bienestar”. Y es cierto que a partir de ahí muchas organizaciones, cual la Organización de la Unidad Africana (OUA), y más de otros 50 gobiernos de todo el mundo adoptaron instrumentos o constituciones nacionales que reconocen al medio ambiente como un derecho humano fundamental. También gran parte de las legislaciones nacionales relativas al medio ambiente se elaboraron a partir de Estocolmo. Y desde 1971 a 1975, se aprobaron 31 importantes leyes nacionales ambientales en países pertenecientes a la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), en comparación con sólo 4 en el periodo de 1956 a 1960, 10 de 1960 a 1965 y 18 de 1966 a 1970. El primer Programa de

Acción en Materia Ambiente de la Unión Europea data asimismo de 1973. En suma, el medio ambiente adquirió mayor protagonismo en las agendas gubernamentales lo que se pone de manifiesto por el hecho de pasar de la existencia de diez ministerios de medio ambiente antes de la Conferencia a 110 en 1982. Por cierto, en España hubo que aguardar hasta 1996 para que se creara un ministerio específico de medio ambiente que englobara las competencias asociadas a esta área.

La primera cumbre, celebrada en octubre de 1984, la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (*World Commission on Environment and Development*), convocada por la Asamblea General de las Naciones Unidas con el encargo de elaborar una Agenda Global para el Cambio (*A global agenda for change*), partía de un enfoque positivo como repuesta al mensaje del informe Meadows, afirmando que era posible para la humanidad construir un futuro más próspero, más justo y más seguro. La publicación en 1987 de los trabajos realizados en el marco de la agenda en un documento titulado “Nuestro Futuro Común” (*Our common future*) constituye el inicio de un proceso auspiciado por agencias internacionales para impulsar instrumentos de cooperación hacia un crecimiento económico basado en políticas de sostenibilidad y expansión de la base de recursos ambientales, el calificado desde entonces como desarrollo sostenible. Igual que en el informe Meadows también en este caso, aun apareciendo de forma más explícita las referencias a la problemática ambiental, el objetivo prioritario queda claro cuando se formula en términos de “desarrollar acciones políticas decididas que permitan desde ya el adecuado manejo de los recursos ambientales para garantizar el progreso humano sostenible y la supervivencia de la especie humana en el planeta. Un enfoque antropocéntrico, quizás ante la duda de si la sociedad se movilizaría con la necesaria fuerza en el caso de que los argumentos fueran referidos a la conservación de la biodiversidad, patrimonio no exclusivamente humano, si bien nos proporciona en forma de servicios de los ecosistemas bienes más preciados que las sobrevaloradas *commodities*.

Un fruto positivo del desarrollo de la Agenda Global fue la decisión de celebrar una cumbre convocada sobre desarrollo y medio ambiente, pero que con una diferencia que trasciende de lo semántico acabó siendo conocida más como la Cumbre de Río o de la Tierra que por su nombre oficial Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo y Medio Ambiente (celebrada en Río de Janeiro entre el 3 y el 14 de junio de 1992). Los “productos” de la cumbre revelan el profundo cambio respecto de los eventos anteriores, con un enfoque realmente global a nivel de biosfera (figura 1):

- Programa 21 que recoge las acciones para alcanzar un desarrollo sostenible estructurado en cuatro secciones: **Dimensiones sociales y económicas** (cooperación internacional, lucha contra la pobreza, patrones de consumo, demografía y sostenibilidad, salud humana, formación para el desarrollo, integración del medio ambiente en las políticas sectoriales); **Conservación y gestión de los recursos para el desarrollo** (bosques, calidad del aire, usos del suelo, ecosistemas frágiles, agricultura sostenible, diversidad biológica, biotecnología sostenible, conservación de ecosistemas marinos, recursos hídricos, gestión de productos peligrosos, gestión de residuos, gestión de las aguas residuales y gestión de los residuos radiactivos); **Fortalecimiento del papel de los grupos principales** (empoderamiento de género, protección de la infancia y juventud, comunidades indígenas, organizaciones sindicales, comunidad científica); **Medios de ejecución** (instrumentos financieros, transferencia de tecnología y conocimiento, acuerdos internacionales, instrumentos jurídicos supranacionales, participación en la toma de decisiones).
- Agenda 21 Local: constituye un Plan de Acción para afrontar los singulares problemas que el desarrollo sostenible afronta en el ámbito de las ciudades que han incrementado su importancia a medida que se ha acelerado el proceso de urbanización de la humanidad. La Agenda 21 Local promueve en este ámbito un proceso de diálogo con sus ciudadanos, organizaciones y entidades para adoptar un plan de desarrollo centrado en las oportunidades y valores locales. Es una herramienta que pretende integrar las acciones sectoriales en los tres ámbitos de la sostenibilidad: el desarrollo social, el económico y el medio ambiente.
- Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) cuyos tres objetivos principales son la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, primer paso para la posterior firma del Protocolo de Kyoto y del reconocimiento de que el problema del cambio climático es real y la actividad antrópica contribuye de forma significativa, a la par que hizo uso de un instrumento utilizado en el Protocolo de Montreal de 1987 que obliga a los estados miembros a actuar en interés de la seguridad humana incluso a falta de certeza científica.



Figura 1. Esquema con los cuatro resultados que surgieron en la denominada Cumbre de Río 92.

La activación de los procesos de cooperación a partir de Río 92 dio lugar a iniciativas que han tenido amplia repercusión en los programas y planes de acción de organismos internacionales, agencias de cooperación y los propios gobiernos nacionales. Así, la Declaración del Milenio de las Naciones Unidas, firmada en septiembre de 2000, supuso que los dirigentes mundiales adquiriesen el compromiso de alcanzar metas y objetivos en los problemas identificados como más relevantes y constitutivos de las desigualdades entre el mundo desarrollado y países en los cuáles una parte mayoritaria de la población vive en condiciones por debajo de los que exige la dignidad humana. Los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio son los resumidos en la figura 2.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (Río +20) se realizó en Río de Janeiro, Brasil, los días 20-22 de junio de 2012 concluyendo con la aprobación del documento “El Futuro que Queremos” que recoge nuevas medidas para la implementación del desarrollo sostenible a partir de los debates del foro centrados en dos temas principales, la economía verde en el contexto del desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza y el marco institucional para el desarrollo sostenible.

A partir de ese documento en septiembre de 2015 se revisaron los resultados de los Objetivos del Milenio cuyo horizonte estaba fijado en esta fecha formulando una nueva propuesta, la **Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible** en la que los estados miembros de la ONU, vuelven a comprometerse a luchar contra la desigualdad y la injusticia, y a hacer frente al cambio climático. Respecto de los Objetivos del Milenio esta nueva Agenda incide en las raíces de la pobreza, en las causas de las disfunciones que impiden que el desarrollo sea universal y en los desequilibrios ambientales que van parejos a ambos problemas. Según los responsables del Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas el acuerdo marca un hito importante al poner nuestro mundo en un curso integrador y sostenible.

En la nueva Agenda se vuelve a incluir “*La lucha contra la pobreza*” pues más de 800 millones de personas siguen sufriendo este azote en su nivel más extremo impidiendo su acceso a los niveles más básicos de alimentación, saneamiento y agua potable.

El balance de los Objetivos del Milenio refleja que el crecimiento económico y la mayor producción de alimentos han reducido a la mitad la población que pasa hambre pero en la Agenda para el Desarrollo Sostenible 2030 se establece como objetivo “**Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible**”, que hoy sigue comprometido por la degradación ambiental, la sequía y la pérdida de biodiversidad.

Quizás haya sido en materia de reducción de la mortalidad infantil, mejora de la salud materna y lucha contra el VIH/SIDA, malaria y otras enfermedades donde el balance de los Objetivos del Milenio ofrece unos datos más alentadores, pues desde que fueron formulados la mortalidad infantil, la mortalidad materna o las infecciones ocasionadas por el VIH descendieron entre un 30 y un 45 %. Pero realidades como el que cada año mueran más de seis millones de niños antes de cumplir seis años hace obligado incluir en la Agenda el “**Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades**”.

“**Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos**” sigue siendo un reto ante el aumento de la población infantil impedida de acceder a la escolaridad en medio de la pobreza y los conflictos bélicos. Y sigue existiendo una brecha de género y de nivel de ingresos en el acceso a la formación profesional y superior.



Figura 2. Los ocho objetivos de desarrollo del milenio propuestos en 2000 por las Naciones Unidas y confirmados en 2015 (Naciones Unidas, 2015).

“**Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y niñas**” tiene en los países en desarrollo connotaciones similares en algunos aspectos a las que se dan en nuestra sociedad pero agravados en su magnitud, al tiempo que hay otros característicos de ellos. Las brechas en temas como el acceso al mercado laboral, la violencia sexual, la participación en cargos públicos o el acceso a la propiedad son mucho mayores. Los problemas de género por otra parte repercuten en diferentes problemáticas como la salud y la alimentación en las que la mujer desempeña un papel fundamental.

Con distintos grados de estrés hídrico la escasez de agua afecta a casi la mitad de la humanidad y las previsiones auguran esa cifra crezca como consecuencia de factores muy diversos y relacionados muchos de ellos con otras problemáticas sectoriales como la desertización, crecimiento demográfico, contaminación por diversas fuentes y en general falta de infraestructuras y uso ineficiente que se agrava por el cambio climático. Se renueva así en la Agenda el objetivo de “**Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos**”.

En España ha adquirido vigencia el concepto de pobreza energética más vinculado a la falta de recursos económicos para el pago del servicio que a la disponibilidad de este. En los países en desarrollo se dan ambas carencias a las que se unen los problemas ambientales y de salud por la mala calidad de

los combustibles utilizados y de las infraestructuras energéticas. **“Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos”** es uno de los objetivos de la Agenda para el Desarrollo Sostenible, que hace necesarias soluciones adecuadas a las circunstancias locales con fuentes de energía limpia, como la solar, eólica y termal, además de mejorar la eficiencia energética.

“Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos” requiere medidas dignificadoras que erradiquen situaciones que aún persisten de trabajo forzoso, esclavitud y tráfico humano, así como estimular el crecimiento económico sostenible mediante el aumento de los niveles de productividad y la innovación tecnológica.

El proceso de crecimiento urbano que ha llevado a que más de las tres cuartas partes de la población viva en ciudades y en muchas ocasiones a un crecimiento desordenado de estas, con un gran déficit de infraestructuras y el surgimiento de asentamientos informales que se convierten en verdaderos guetos sociales, requiere **“Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación”**, así como **“Conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”** que son dos objetivos de la Agenda.

La totalidad de los objetivos descritos hasta aquí son incompatibles con la actual realidad en que el 10 % más rico de la población acapara el 40 % del ingreso mundial total mientras que el 10 % más pobre obtiene solo entre el 2 % y 7 %. Incluso en los países en desarrollo, la desigualdad ha aumentado en 11 %, si se considera el aumento de la población. **“La desigualdad en y entre los países”** se puede corregir mediante soluciones globales de mejorar la regulación y el control de los mercados y las instituciones financieras, y fomentar la asistencia para el desarrollo y la inversión extranjera directa para las regiones que más lo necesitan.

Herramientas y conceptos desarrollados para cuantificar la sostenibilidad de nuestros actuales patrones de consumo, como la huella ecológica o la biocapacidad, evidencian un alarmante desajuste que la Agenda pretende corregir al **“Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles”**.

Además de las funciones reguladoras del clima que ejercen mares y océanos se estima que el sustento de más de 3.000 millones de personas depende de

“Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible”.

En la formulación de los objetivos de la Agenda para el Desarrollo Sostenible en relación con la importancia del recurso suelo se ofrecen frente a datos que ponen de relieve su importancia, 80 % de los alimentos producidos y un 30 % de la superficie cubierta por bosques, otros preocupantes como el que la degradación y la pérdida de tierras cultivables es de 30 a 35 veces superior al ritmo histórico, que las sequías y la desertificación producen pérdidas de 12 millones de hectáreas y afectan a las comunidades pobres de todo el mundo. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible apuntan a conservar y recuperar el uso de ecosistemas terrestres como bosques, humedales, tierras áridas y montañas para 2020. La agenda propone **“Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, efectuar una ordenación sostenible de los bosques, luchar contra la desertificación, detener y revertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de diversidad biológica”.**

Absolutamente todos los problemas citados como parte de la Agenda para el desarrollo Sostenible 2030 están influidos y en general magnificados por el problema del cambio climático con el riesgo de que muchos de los efectos sean irreversibles si no se actúa para **“Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos”.**

Por último se propone un marco de gobernanza internacional para **“Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles y fortalecer los medios de ejecución y revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible”.**

En los apartados siguientes se pretende definir el marco de actuación de la ciencia farmacéutica en el contexto de una crisis ambiental y de diversidad biológica apoyándose en los trabajos de las agencias internacionales para afrontar los retos de esta crisis caso de la Convención para la Protección de la Diversidad Biológica, analizando las posibilidades que para la farmacia encierra la bioprospección o la etnobotánica por ejemplo. La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio que examina el estado, amenazas y tendencias de los que ofrecen servicios de ecosistemas de interés farmacéuticos o el estudio Cambio Climático y Bienestar para identificar nuevos retos para nuestra actividad profesional se tendrán en cuenta.

Una característica presente en los diversos programas comentados es la apelación insistente al compromiso de los agentes sociales y por ello se incluye también qué herramientas puede utilizar la industria farmacéutica para medir e informar con rigor de su grado de compromiso con la sostenibilidad: la huella ecológica, la huella de carbono o el Análisis del Ciclo de Vida.

4. Diversidad biológica y servicios de los ecosistemas

Biodiversidad y diversidad biológica, si bien en algunos ámbitos se usan indistintamente, son términos que en pureza científica no se corresponden, aunque el instrumento clave aprobado en 1992 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo tiene por título Convenio para la Conservación de la Diversidad Biológica. El ecólogo español Ramón Margaleff fue precursor de su estudio, pero se suele atribuir su paternidad al entomólogo Edward O. Wilson en el marco del Foro Nacional sobre la Diversidad Biológica de EE UU en 1985. Desde una definición simple como “variedad de la vida” hasta la oficial recogida en el Convenio, “la variabilidad de organismos vivos de todas las clases, incluida la diversidad dentro de las especies, entre las especies y de los ecosistemas” (artículo 2º del Convenio de Diversidad Biológica), el concepto incluye varios niveles de la organización biológica y abarca tanto la diversidad de especies de plantas, animales, hongos y microorganismos como su variabilidad genética, los ecosistemas de los cuales forman parte estas especies y los paisajes o regiones en donde se ubican los ecosistemas. Se extiende así a los procesos ecológicos y evolutivos que se dan a nivel de genes, especies, ecosistemas y paisajes.

La funcionalidad de los ecosistemas está determinada en cuanto a sus límites por factores abióticos, el clima, la geología, pero dentro de esos límites son factores bióticos intrínsecos los que regulan los procesos: abundancia de especies, su distribución o la variación funcional, es decir la diversidad biológica. El valor de la diversidad biológica suele referirse al que encierran los servicios que prestan los ecosistemas, cuya amplitud puede resumirse según:

- Soporte de la estructura, composición y diversidad de los ecosistemas.

- Regulación de factores claves en ellos tales como su productividad y estabilidad.
- Lo que comúnmente se entiende como “servicios”: alimentos, aire y agua limpios, y biomateriales.
- Intangibles como valores espirituales o recreativos.

La evaluación de diversidad biológica es una tarea fundamental en la estrategia para su conservación, pero por su complejidad los factores cuantificables con mayor facilidad lo son a nivel de genes y especies, por ejemplo, y no siempre los más directamente relacionados con los aspectos de mayor interés práctico. Magnitudes habitualmente medibles son la variedad, la cantidad, la calidad y la distribución. Mientras que la variabilidad se relaciona principalmente con los niveles genéticos y de especie, la distribución guarda relación con los de poblaciones y ecosistemas, fundamentales para la bioprospección.

4.1. Diversidad biológica y factores antropogénicos

En el pasado de nuestro planeta ha sido constante la aparición de nuevas especies, la extinción de otras y permanentes variaciones en sus poblaciones. Los factores que han determinado de manera significativa esos cambios han sido en principio ajenos a los procesos propiamente biológicos: variaciones climáticas, procesos tectónicos o incluso colisiones con objetos siderales.

La evidencia de que en un pasado próximo, en el presente y potencialmente en el futuro ha habido, sin que deje de existir la influencia de los agentes citados, un cambio cuantitativo y cualitativo en esas tendencias, asociado a la influencia antrópica, estuvo en el origen de la firma de Convenio para la Conservación de la Diversidad Biológica. Este recoge la necesidad de proceder, mediante muestreo y otras técnicas, al seguimiento de los componentes de la diversidad biológica prestando especial atención a los que requieran la adopción de medidas urgentes de conservación y a los que ofrezcan el mayor potencial para la utilización sostenible; identificando así mismo los procesos y categorías de actividades que tengan, o sea probable que tengan, efectos perjudiciales importantes en la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica. Los factores antropogénicos que se han identificado ejercen esa influencia son el cambio climático; la pérdida, transformación y fragmentación de hábitat; la sobreexplotación; la contaminación y la presencia de microorganismos patógenos.

La información disponible sobre ecosistemas en estado prístino, que se pueda utilizar como referencia para evaluar los cambios, es reducida y sujeta a controversia. Se habla del síndrome de la línea de base, según el cual cada nueva generación de científicos acepta como punto de referencia el tamaño de la población y la composición de especies existentes al principio de su carrera, y utiliza estos datos para medir los cambios y proponer las acciones que los corrijan. Según esa incertidumbre en la definición de la línea base, sujeta a las variaciones antrópicas y no antrópicas de la diversidad biológica, es difícil saber si esos cambios corresponden a tendencias reales verdaderas o al ruido de fondo de los procesos naturales. En los párrafos siguientes se analizan y resumen, antes de considerar la influencia humana, las tendencias encontradas en cuanto a la variación de poblaciones y especies anticipando la dificultad de deducir a partir de ellas una tendencia a nivel de especie y en un determinado contexto geográfico.

La preocupación por la disminución de las poblaciones y número de especies ha pasado a ser una de las mayores preocupaciones ambientales o quizás sería más preciso afirmar que es el resultado de los impactos ambientales que en el último cuarto del siglo pasado cobraron una mayor intensidad. Los datos paleontológicos a partir del registro fósil apuntan a la extinción de una especie de mamíferos y aves por cada periodo entre quinientos y mil años y si bien no se disponen de datos de fiabilidad absoluta del ritmo de extinción en el fin de siglo si hay certeza de una aceleración del mismo.

Informes como la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (que se puede consultar en www.iucnredlist.org) estima en un 24 % el número de las especies de mamíferos y el 12 % de las de aves en riesgo de extinción con un aumento notable sobre la anterior evaluación y aunque los valores cuantitativos de esas deben ser interpretadas con reservas, bien porque se hayan modificado los criterios de inclusión o por variaciones en la interpretación taxonómica, hay motivos para la alarma: la base de datos del Comité sobre organismos recientemente extinguidos, registra 58 especies de peces y una especie de mamíferos como extinguidas desde 1970; por su parte las evaluaciones de *BirdLife International* señalan que 9 especies de aves se extinguieron durante ese mismo periodo.

La necesidad de mejorar la información relativa a la situación de las especies en el marco de la diversidad biológica, en buena parte anecdótica y fundamentalmente cualitativa, ha impulsado la elaboración de indicadores que cuantifiquen las tendencias sobre pérdida o disminución de especies. Uno de los más referidos es el Índice del Planeta Vivo (IPV) establecido

por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en cooperación con el Fondo Mundial para la Naturaleza (*World Wildlife Fund*, WWF). Toma como referencia el tamaño de las poblaciones silvestres de especies en tres hábitat: los ecosistemas forestales, los de agua dulce y los marinos y se basa en datos presentados en la literatura científica, con línea base en el tamaño de la población estimado en 1970 (figura 3) y el valor medio del índice se calcula como el promedio de todas las especies incluidas en la evaluación en cada intervalo de tiempo. El índice forestal, basado en poblaciones de 319 especies templadas y tropicales, muestra una disminución de aproximadamente 12 por ciento durante el periodo 1970–99. El índice para especies de zonas templadas no manifiesta grandes cambios quizás porque la gran deforestación había sido anterior si bien las tropicales, en las que esta ha sido más reciente, reflejan una tendencia descendente. El índice marino, basado en poblaciones de 217 especies de animales marinos, muestra una disminución de cerca del 35 por ciento durante el mismo periodo. Peores son los datos referidos a especies de ecosistemas de agua dulce y humedales, con descensos del 50 %, y reflejo preciso de una realidad a la que nos referiremos con insistencia, la degradación de las masas de agua.

Es necesario indicar que el IPV tiene una fuerte orientación regional y el inconveniente de ser difícil de aplicar a pequeñas y dispersas poblaciones remotas de complicado control pero que pueden estar amenazadas de extinción.

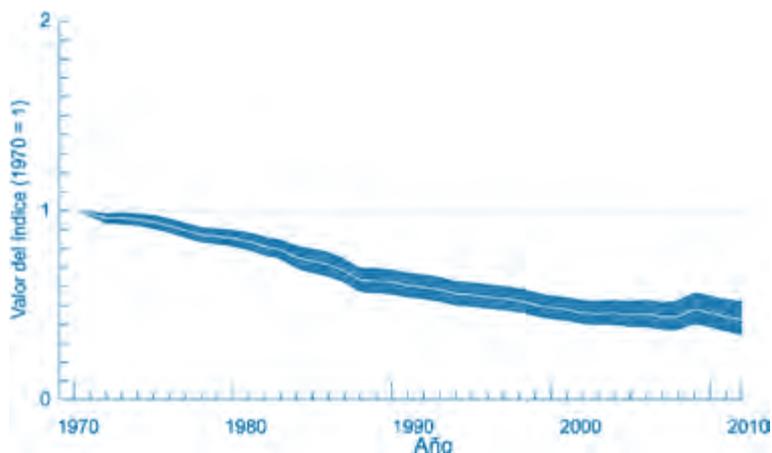


Figura 3. El Índice del Planeta Vivo (IPV) revela un descenso del 58 % en la biodiversidad entre 1970 y 2012. La línea blanca corresponde al valor medio y la zona sombreada representa los límites de confianza del 95 % en torno al valor medio (WWF, 2016)

A las consideraciones cuantitativas es necesario añadir que hay especies que desempeñan un papel clave en la funcionalidad de los ecosistemas y que, por lo tanto, su descenso implica un mayor efecto sobre la prestación de todos los servicios de un ecosistema porque la captación de recursos (de energía, agua y nutrientes) es más eficiente cuando es mayor la diversidad biológica. Por esa misma razón ecosistemas menos biodiversos *per se* cómo los de zonas árticas y desérticas son más vulnerables a las acciones antrópicas.

En general se afirma que los macroorganismos con limitada área de distribución reducen como consecuencia de la actividad humana sus poblaciones en beneficio de otros menos vulnerables a esos cambios y con el resultado final de una tendencia a la homogeneización de la biosfera.

Una estimación conservadora cifra en cinco millones el número total de especies, pero la propia incertidumbre de esta cifra hace que frente a las referencias al número total que se extinguen sea preferible convertir estos datos en una tasa de extinción relativa, medida como el número de extinciones de especies de cada año.

De nuevo es preciso hacer referencia a la complejidad de estas mediciones ya que la medición de las tasas de extinción recientes es difícil, pues el conocimiento de la biodiversidad es limitado y el tiempo transcurrido entre la causa de la extinción y el reflejo en la pérdida de especies puede abarcar periodos de hasta miles de años. Contando con ello es posible expresar algunas tasas de extinción referidas a un número limitado de taxones. Para 21.000 especies descritas de aves, mamíferos y anfibios en el siglo pasado se establece una relación 476 veces mayor que la extinción de fondo, lo que traducido en términos de “especie posiblemente extinguidas” da un número de 215 especies los últimos 100 años, 1.024 veces mayor que las tasas de fondo.

Es posible pues, a pesar de todas las incertidumbres apuntadas, extraer conclusiones útiles y relevantes sobre las actuales tendencias en cuanto a la diversidad biológica. Se están produciendo, y continuarán produciéndose, cambios sustanciales en su mayoría de consecuencias negativas y atribuibles a la actividad humana, siendo su naturaleza, características taxonómicas, espaciales y temporales complejas. Con todas las limitaciones existentes aún sobre nuestro conocimiento de los procesos naturales son rotundas las evidencias de que en los últimos 50.000 años la actividad humana ha provocado la pérdida de una parte muy importante de la biodiversidad con un incremento notable de las tasa en el pasado siglo. Se estima que esa tasa se

multiplicó por dos y se pronostica que crecerá hasta tres veces respecto del ritmo de extinción de fondo.

El taxón del que más datos se dispone gracias al trabajo de científicos, organizaciones ornitológicas, muy especialmente la excepcional labor de *BirdLife International*, es el de las aves y sus informes reflejan el notable aumento de esas tasas desde 1998, mientras que a nivel general y en un futuro inmediato se considera que hay un 20 % de especies en riesgo alto de extinción. La disminución en la extensión y en las condiciones ambientales de los hábitats también ha provocado notables disminuciones en las poblaciones no amenazadas a corto plazo de extinción. Incluso entre las especies no amenazadas de extinción en los últimos años la disminución de poblaciones alcanza valores alarmantes: aves en los campos de Europa y Norteamérica, grandes mamíferos africanos, 700 poblaciones de vertebrados en todo el mundo, aves limícolas, mariposas o especies piscícolas de interés comercial.

Desde un enfoque taxonómico las tasas de disminución de la biodiversidad informan de una mayor sensibilidad en ciertos grupos que se muestran más vulnerables, básicamente los que tienen su hábitat en masas de agua dulce, como los anfibios, y que pone de manifiesto la importancia de la conservación de los recursos hídricos. Los aspectos filogenéticos inciden negativamente en grupos antiguos o de poca diversidad mientras que especies muy generalistas crecen, pero con efectos ecológicos adversos como puede ser su expansión invasora.

Los factores espaciales tienen ejemplos de altas tasas de extinción en hábitats insulares o espacios en donde una alta densidad de especies, como los bosques tropicales, está sometida a la transformación a hábitats contemporáneos y fuerte presión antrópica, pero en las zonas de ecosistemas templados no hay signos de pérdida acusada de biodiversidad incluso expandiéndose ecosistemas en latitudes altas.

Una evaluación de cómo han sido los patrones que han condicionado la evolución temporal de la variación de la diversidad biológica no considera irrelevante la influencia antrópica preindustrial, ligada principalmente a la introducción de especies alóctonas y la sobreexplotación, mientras que en un pasado más reciente, y se pronostica que también en el futuro, la transformación para actividades agrícolas es la causa principal a la que se unirá el cambio climático.

Pero ese análisis factorial no permite eludir el elevado grado de complejidad que encierran los procesos que determinan cambios en la diversidad biológica.

La forma en que los factores antropogénicos determinan la vulnerabilidad de los ecosistemas, las interacciones cruzadas entre los cambios de la abundancia de una especie se ilustran adecuadamente con algunos ejemplos. En las islas Aleutianas la disminución de pinnípedos ha hecho que las orcas cacen nutrias con una enorme reducción de su población y en Australia, la introducción de pastos africanos, altamente inflamables con las altas temperaturas en las sabanas leñosas nativas, ha aumentado la intensidad y frecuencia de incendios que a su vez reducen la vegetación autóctona acelerando así la invasión de otras especies arbustivas tolerantes al fuego. El impacto del cambio climático transformará los hábitats y en consecuencia la distribución y movimiento de las especies, ya comprobado en algunos tipos de mariposas.

Los efectos sinérgicos comprobados revelan sorprendentes y difícilmente previsible conexiones como la exposición a las radiaciones ultravioletas, la acidificación y la disminución de poblaciones de anfibios. Estos efectos sinérgicos aumentan la complejidad de los procesos implicados en los cambios pues pueden alterar los efectos lineales de los cambios bióticos y abióticos, modificando umbrales de afección, originando efectos aditivos o reduciendo la resistencia a los cambios antrópicos. Otro ejemplo ilustrativo es el cambio en los arrecifes de coral de Jamaica dónde la sobrepesca de especies herbívoras limitó a un solo erizo depredador de aquellas y tras la aparición de un patógeno específico prosperaron de forma desmesurada especies de algas con poca capacidad de soporte de biodiversidad y especies piscícolas de interés.

La Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica elabora bajo la denominación de Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica un informe periódico que, en su tercera edición, informa sobre el grado de cumplimiento de las metas que el Convenio estableció para el 2010 y que sirvió de base para el desarrollo del Plan Estratégico de Diversidad Biológica 2011-2020 y las Metas de Aichi. Las conclusiones no son halagüeñas, pues dichas metas no se han cumplido, y a pesar de compromisos y esfuerzos de los gobiernos, las causas raíz no se han abordado y las presiones sobre la diversidad biológica siguen siendo altas, con el resultado de continuar la degradación de los ecosistemas, reducción de poblaciones, aumento de las tasas de extinción y degradación genética.

Los pronósticos futuros tampoco son favorables advirtiendo de que la persistencia de los impactos tendrá consecuencias en la disminución de los servicios de los ecosistemas. Junto a ello convive un mensaje de esperanza por la confirmación de acciones emprendidas dentro de las estrategias de

conservación de la diversidad biológica que en determinados contextos ya han tenido resultados positivos lo que demuestra que con recursos suficientes y voluntad política, con la condición de que no se demore el comienzo de la implementación de medidas, puede a largo plazo corregirse o paliar las amenazas actuales para la diversidad biológica.

Conocer en qué grado influyen, sobre cuál de las variables que determinan las propiedades de la biodiversidad biológica y cuáles son las tendencias, es indispensable para establecer la estrategia de su conservación. Las presiones antropocéntricas consideradas son los cambios en los hábitats, fragmentación, especies invasoras, explotación, inputs (fertilizantes, lluvia ácida, contaminantes), enfermedades y cambio climático ponderándose su incidencia sobre tres niveles de organización ecológica: genes, población y especies y biomas. En la ponderación de los impactos se considera el grado de reversibilidad, la certeza según juicio de expertos y la información sobre posibles tendencias.

Las actividades antrópicas que reducen, modifican o fragmentan los hábitats superan el impacto atribuido a factores como la introducción de especies alóctonas. Un nivel más abajo se sitúan otras incidencias como la contaminación, presencia de patógenos o el cambio climático bien que éste en fechas posteriores a la de realización de los estudios tomados como referencia ha adquirido más relevancia y los pronósticos siguen para el futuro esa tendencia.

4.2. Evaluación de los ecosistemas del milenio y diversidad biológica

Las conclusiones de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM)¹ de los 24 tipos de ecosistemas valorados cifra en 15, el 60 %, los que están degradados o son objeto de un uso no sostenible que afecta a su capacidad de proporcionar servicios tales como agua dulce, aire limpio, regulación del clima, mitigación de riesgos naturales, especies piscícolas y otros productos naturales. En ocasiones ha sido el acceso a esos servicios la causa de la propia degradación y hasta recientemente no ha existido una valoración económica que permita cuantificar el valor de los pasivos generados por la sobreexplotación o degradación, que recaen en los sectores de población más vulnerables y las generaciones futuras.

¹ A propuesta de la ONU, se desarrolló en 2001 por el Instituto Nacional para la Salud Pública y el Medio Ambiente, con sede en la ciudad holandesa de Bilthoven.

Otra conclusión de la EEM es referente a la creciente probabilidad de que la incidencia de los cambios en la diversidad biológica se acelere, adquiera caracteres más abruptos e irreversibles que se manifiesten como la aparición de nuevas enfermedades, alteraciones climáticas, degradación de los recursos hídricos y aguas litorales, con incidencia en el bienestar humano. Y aunque como refleja el análisis del cumplimiento de los Objetivos del Milenio ha habido notorios avances en la consecución de las metas que en ellos se establecieron la degradación de los ecosistemas es un obstáculo en ese progreso, pues los servicios que estos prestan son indispensables en la lucha contra la inequidad causante de la pobreza y de conflictos sociales. Constituye un reto cambiar el signo de actual tendencia de degradación de los ecosistemas de forma compatible con un aprovechamiento sostenible de sus servicios. Para ello son necesarios cambios en el modelo de desarrollo con medidas capaces de fortalecer los servicios de los ecosistemas que puedan afrontar un crecimiento global importante del PIB en el horizonte del 2050. Señala la Evaluación dos obstáculos en ese camino de difícil superación en el corto plazo, el cambio climático y la carga de nutrientes.

Las soluciones son complejas y en los apartados posteriores se consideran las aportaciones y conclusiones del documento resultante del proceso de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM).

4.2.1. Primera conclusión de la EEM

En los últimos 50 años, los seres humanos han transformado los ecosistemas más rápida y extensamente que en ningún otro período de tiempo comparable de la historia humana, en gran parte para resolver rápidamente las demandas crecientes de alimento, agua dulce, madera, fibra y combustible. Esto ha generado una pérdida considerable y en gran medida irreversible de la diversidad de la vida sobre la Tierra. La estructura y el funcionamiento de los ecosistemas del mundo cambiaron en la segunda mitad del siglo XX más rápidamente que en ningún otro período de la historia de la humanidad.

Hechos relevantes en que se funda el anterior mensaje de los científicos expertos se refieren a un aumento de la superficie agrícola desde 1945 superior a la habida en los tres siglos anteriores alcanzando en este momento una cuarta parte de la superficie terrestre. En los océanos las alertas más significativas hablan de una pérdida del 20 % de los arrecifes de coral y una

parte equivalente con signos alarmantes de degradación. Otro ecosistema marino de gran importancia como los manglares han sufrido en el siglo XX una reducción de su superficie del 30 %, cifra que puede aumentar pues casi la mitad de ellos se encuentran en países que carecen de información. Las masas de agua superficiales se han visto alteradas por la construcción de embalses en tal grado que en la actualidad el volumen embalsado, que en un 70 % tiene como destino el riego agrícola, supera entre tres y seis veces al régimen natural de los ríos. Otro factor de estrés sobre las masas de agua, también dentro de ellas a los acuíferos, es el exceso de nutrientes, compuestos biológicamente accesibles de nitrógeno y fósforo, que proveniente de fertilizantes artificiales ha duplicado su uso desde 1985. La concentración de dióxido de carbono ha aumentado en un 30 % desde la era preindustrial, como consecuencia de cambios en los usos del territorio y el uso de combustibles fósiles.

Los seres humanos están modificando sustancialmente, y en gran medida de forma irreversible, la diversidad de la vida sobre la Tierra, y la mayor parte de esos cambios representan una pérdida de biodiversidad.

La afirmación se basa en hechos comentados anteriormente, en el análisis de tendencias de la diversidad biológica (incremento de la tasa de extinción de especies, reducción de poblaciones, homogeneización de la distribución de especies, pérdida genética) y en datos de la evaluación que revelan que para dos de los biomas entre los catorce más relevantes, la agricultura ha reducido en dos tercios su superficie mientras que en otros cuatro es casi la mitad de la superficie transformada en cultivos.

La mayoría de las transformaciones en los ecosistemas se han efectuado para satisfacer el enorme aumento de la demanda de alimentos, agua, madera, fibras y combustibles.

Salvando alteraciones causadas por la construcción de todo tipo de infraestructuras, crecimiento urbano y suelos contaminados por la minería y otras actividades industriales, el mayor impacto sobre los ecosistemas es su aprovechamiento para proveer de diversos servicios a la sociedad. El crecimiento demográfico y de la economía en la segunda mitad del siglo pasado aumentó la presión sobre los ecosistemas de manera que la producción de alimentos se multiplicó aproximadamente por dos y medio; el uso de agua se duplicó, la tala de bosques para obtener pasta de papel y papel se triplicó, la capacidad de las instalaciones hidráulicas se duplicó y la producción de madera aumentó en más de la mitad.

Esta mayor presión se ha ejercido captando recursos directamente (pesca, agua, madera) o indirectamente (transformación de suelos, nuevos recursos tecnológicos que aumentan la producción de alimentos).

4.2.2. Segunda conclusión de la EEM

Los cambios realizados en los ecosistemas han contribuido a obtener considerables beneficios netos en el bienestar humano y el desarrollo económico, pero estos beneficios se han obtenido con crecientes costos consistentes en la degradación de muchos servicios de los ecosistemas, un mayor riesgo de cambios no lineales, y la acentuación de la pobreza de algunos grupos de personas. Estos problemas, si no se los aborda, harán disminuir considerablemente los beneficios que las generaciones venideras obtengan de los ecosistemas. En conjunto, y para la mayoría de los países, los cambios realizados en los ecosistemas del mundo en las décadas recientes han proporcionado importantes beneficios para el bienestar humano y el desarrollo nacional.

Reconoce la Evaluación cómo el uso de los servicios de los ecosistemas ha supuesto avances en la lucha contra el hambre; mejoras en la salud por la mayor disposición de agua y saneamiento; mejora en los índices de pobreza por mayor generación de ingresos en aprovechamientos agrícolas, forestales y agrícolas. En suma el reconocimiento del papel que los servicios de los ecosistemas han desempeñado y pueden seguir haciéndolo en las mejoras de la calidad de vida, pero en conclusiones que se recogen a continuación se señalan los riesgos y cambios necesarios para que pueda confiarse en ello.

No obstante, esos beneficios se han conseguido con costos cada vez mayores consistentes en la degradación de muchos servicios de los ecosistemas, el aumento del riesgo de cambios no lineales en los mismos, el aumento de la pobreza para algunos grupos de personas, y mayores desigualdades y disparidades entre grupos de personas. Aproximadamente el 60 % (15 de 24) de los servicios de los ecosistemas examinados en esta evaluación (con inclusión del 70 % de los servicios de regulación y culturales) están siendo degradados o se están utilizando de manera no sostenible.

Los servicios de los ecosistemas afectados por la degradación durante los últimos 50 años incluyen las pesquerías, la disponibilidad de recursos hí-

dricos, la protección contra los riesgos naturales, la regulación de la calidad del aire, la regulación a nivel regional y local del clima, la protección contra la erosión, la satisfacción espiritual y el placer estético. Frente a ellos la sobreexplotación de los recursos pesqueros; no sostenibilidad del uso del agua que se analiza posteriormente con más detalle; impacto de la eliminación de residuos y vertido de residuos tóxicos.

A menudo, las acciones destinadas a aumentar el servicio de un ecosistema provocan la degradación de otros servicios.

Un ejemplo de la anterior afirmación es el proceso que permite aumentar la producción de alimentos en un círculo, que puede ser vicioso, que implica aumento de la superficie cultivada, mayor necesidad de agua y fertilizantes, monocultivos y en el lado negativo disminución y pérdida de calidad del agua, reducción de la biodiversidad, pérdida de superficie forestal y consiguiente reducción del efecto sumidero de dióxido de carbono, mayor riesgo de inundaciones por falta de retención de lluvias en suelos con cobertura vegetal. El resultado es una pérdida en la calidad y cantidad de los servicios que prestan los ecosistemas que puede llegar también a repercutir negativamente en las actividades que generaron los impactos y en el bienestar de sus promotores.

La degradación de los servicios de los ecosistemas causa frecuentemente un perjuicio significativo al bienestar humano.

Frente a la escasa información existente que cuantifique la incidencia de los cambios en los ecosistemas en el bienestar humano el informe de Evaluación proporciona evidencias de las consecuencias negativas de dichos cambios sobre los medios de subsistencia, la salud y la economía local y nacional. Así considera que un factor que hace que no se valore aquellos servicios no comercializables, a pesar de ser en muchas ocasiones superiores, es la comercialización de servicios ecosistémicos concretos y cita el ejemplo de un estudio realizado sobre los bosques mediterráneos. El servicio forestal más aprovechado comúnmente, la madera como tal, supone menos de un tercio del potencial valor económico de otros servicios si se consideran los productos forestales no maderables, las actividades recreativas, la caza, la protección de cuencas, la captura de carbono y la utilización pasiva. Cuando se realizan comparaciones entre el valor económico total de los ecosistemas bajo distintos regímenes de gestión se comprueba que su uso sostenible genera más beneficios que su transformación.

Aporta el estudio ejemplos que permiten estimar los considerables costos económicos y de salud pública por el uso no sostenible de los ecosistemas.

Algunos relevantes se relacionan con las malas prácticas en el uso del agua. La contaminación y la eutrofización originadas por las actividades agrícolas y ganaderas causaron en Inglaterra sobre costos ambientales cifrados 2.600 millones de dólares en 1990, lo que supone el 9 % de todos los ingresos del sector agrícola en el decenio. La eutrofización de lagos y ríos en Gales e Inglaterra afectó a la pesca y otros valores recreativos asociados al recurso agua y aumentó los costos en la potabilización y depuración del agua, en conjunto unas cargas económicas del orden 200 millones de dólares anuales.

La aparición de nuevos agentes patógenos relacionados con las algas marinas y la propia proliferación masiva de estas afectan a las pesquerías, a la acuicultura y al uso recreativo de las aguas costeras. Un episodio de este tipo causó daños por valor de 11,4 millones de dólares a las actividades propias del sector. Se reportan así mismo datos económicos de los elevados daños causados por la mayor vulnerabilidad frente a tormentas tropicales de zonas costeras en zonas donde han desaparecido los manglares e inundaciones catastróficas en grandes cuencas fluviales por la pérdida de superficies vegetales amortiguadoras. Las pérdidas económicas anuales ocasionadas por eventos extremos han aumentado diez veces desde los años 50 del pasado siglo, hasta llegar a aproximadamente 70.000 millones de dólares en 2003.

Más difícil resulta cuantificar la pérdida de valores culturales asociada a la degradación de los ecosistemas, pero que para algunas comunidades, fundamentalmente entre colectivos indígenas, pueden adquirir más importancia que los propios valores económicos. Es el caso de los lugares considerados sagrados, árboles con simbolismo étnico o religioso, etc.

La degradación de los servicios de los ecosistemas supone la pérdida de bienes de capital.

Se comentaba en apartados anteriores que no ha sido hasta hace muy poco tiempo que se ha comenzado a introducir el concepto de capital natural y a incluir en el análisis económico el factor ambiental. Hasta entonces, por ejemplo, la contabilidad nacional solamente consideraba como bienes de capital las materias primas o los combustibles fósiles, pero no los recursos renovables como los bosques, reservas pesqueras o recursos hídricos. Contribuye a ello la aparente gratuidad del agua de los acuíferos o del aire como sumidero de contaminantes. Es decir, una gestión no sostenible de dichos recursos que llevase a su agotamiento tendría un efecto positivo sobre el PIB nacional. Varios países en desarrollo que con la contabilidad convencional ofrecían balances positivos de su economía pasaban a ser deficitarios cuan-

do se consideraban las pérdidas asociadas al consumo de recursos naturales como los bosques y los daños por emisiones de gases de efecto invernadero.

A pesar de que en algunos casos se podría justificar la degradación de algunos servicios porque produce un beneficio mayor en otros, la mayor degradación de los servicios de los ecosistemas que muchas veces tiene lugar no es de interés para la sociedad, porque muchos de los degradados son “bienes públicos”.

Aun cuando en muchos países, principalmente en los más desarrollados, se ha avanzado en establecer compensaciones económicas por el uso de los recursos que prestan los ecosistemas como bien público es cierto que en la mayoría se está muy lejos de arbitrar mecanismos que corrijan la actual deficiencia de los mercados para compensar por la degradación de los servicios y compensar a los colectivos que se vean afectados.

Las poblaciones ricas no pueden protegerse de la degradación de los servicios de los ecosistemas.

Apuntábamos al comienzo de este apartado que la falta de contacto físico con los ecosistemas proveedores de servicio de la mayor parte de los habitantes de países desarrollados ocultaba su dependencia de ellos a lo que también contribuye el cambio de modelo productivo, con una pérdida de importancia del sector primario e incluso de la dependencia de materias primas consideradas vitales en otro tiempo. Pero aun haciendo abstracción de consideraciones solidarias y éticas es un error pensar que la degradación de los servicios de los ecosistemas no tiene repercusión en el bienestar humano en las regiones industriales y en las poblaciones ricas de los países en desarrollo. El ejemplo más palpable es la emisión de gases de efecto invernadero en los países en desarrollo con políticas energéticas de altos niveles de emisión de gas y cuya repercusión sobre el clima es a nivel global. De igual manera la persistencia de niveles de pobreza en poblaciones que sufren los efectos de la degradación de los ecosistemas tiene efectos sobre los mercados internacionales y es una fuente potencial de conflictos sociales y procesos migratorios. Y si bien las industrias de los países desarrollados dependen en pequeña medida directamente de los servicios de los ecosistemas cada vez es mayor la importancia económica de servicios como los recreativos y turísticos.

Es difícil evaluar las consecuencias de los cambios de los ecosistemas y gestionarlos eficazmente porque muchas de las repercusiones tardan en ponerse de manifiesto, porque pueden manifestarse más claramente

a cierta distancia del lugar en el que el ecosistema fue modificado, y porque los costos y beneficios de los cambios suelen afectar a diferentes conjuntos de interesados.

La relación causa efecto en la degradación de los ecosistemas tiene patrones temporales muy diversos y los daños originados por un cambio en los ecosistemas pueden demorarse espacios de tiempo muy largos. Ocurre así con la eutrofización pues los nutrientes acumulados en los suelos y transportados por la escorrentía hasta las masas de agua demorarán el proceso de eutrofización y la manifestación de los efectos este proceso. De igual manera las predicciones que los expertos formulan en cuanto a la repercusión de los niveles de dióxido emitidos a la atmósfera hasta el momento muestran que aun cuando se limiten las emisiones actuales y futuras, las modificaciones del clima persistirán durante mucho tiempo. Los humedales costeros entre otros muy importantes servicios tienen gran interés desde el punto de vista de las especies pesqueras ya que estas desarrollan en ellos los primeros estadios de su vida. La pérdida de superficie de los humedales repercutirá sobre los recursos pesqueros pero afectará a generaciones futuras de especies piscícolas.

Esta “inercia de los ecosistemas” no está contemplada en los instrumentos que a nivel institucional se pudieran utilizar para evaluar los costos y beneficios de la utilización de los servicios de los ecosistemas y asignar unos y otros de forma equitativa.

Existe una probabilidad creciente de cambios no lineales (escalonados) y potencialmente bruscos en los ecosistemas. Hay pruebas aunque insuficientes de que las alteraciones en los ecosistemas están aumentando la probabilidad de que se produzcan en ellos cambios no lineales (incluyendo cambios acelerados, bruscos, y potencialmente irreversibles), con importantes consecuencias para el bienestar humano.

El problema que señalan aquí las conclusiones de la Evaluación es de los más significativos en el contexto actual de las amenazas a la conservación de la diversidad biológica. Hablamos de que una vez superado el umbral en que un impacto sobre los ecosistemas comienza a manifestarse, pueden experimentar un cambio en la forma de hacerlo, siendo más intenso en magnitud y velocidad, lo que supone que su corrección sea más onerosa y compleja. Es el caso de enfermedades transmisibles por vía hídrica en que la propagación se acelera progresivamente como se comprobó en la epidemia de cólera relacionada con las inundaciones que provocó en 1997-98 el fenómeno climático El Niño. También la propagación del cólera en los países

africanos ribereños de los grandes lagos se relaciona con el calentamiento de sus aguas por el cambio climático.

El problema ya comentado de la eutrofización es así mismo un ejemplo del carácter explosivo de algunos de los cambios en los ecosistemas en este caso de pérdida de calidad de las masas de agua por un exceso de nutrientes. Una vez que se supera un determinado umbral del nutriente el desarrollo de algas es masivo, se producen zonas de hipoxia y empobrecimiento o desaparición de las especies más valiosas. Espectacular, y con incidencia en algunas masas de agua de España, es el caso de la introducción y propagación de la especie invasora del mejillón cebra que provoca la desaparición de otras especies autóctonas y origina inmensas pérdidas por obstrucción de canales, tuberías y circuitos de refrigeración de centrales energéticas.

El aumento de la probabilidad de esos cambios no lineales proviene de la pérdida de biodiversidad y las presiones crecientes de múltiples generadores directos de cambios en los ecosistemas.

Hemos hecho referencia a que resulta crítico el hecho de superar un determinado umbral a partir del cual los cambios se hacen más graves e incontrolables. El nivel umbral viene muy condicionado por el nivel de diversidad y riqueza genética a su vez condicionados por las presiones crecientes de generadores de cambio como el exceso de capturas, el cambio climático, las especies invasoras y la carga de nutrientes.

A pesar del progreso conseguido en el aumento de la producción y el uso de algunos servicios de los ecosistemas, los niveles de pobreza siguen siendo altos, las desigualdades crecen y muchas personas todavía no tienen suficientes suministros o acceso a los servicios de los ecosistemas.

Para quienes dedican el esfuerzo a una ciencia tan directamente relacionada con el bienestar humano, y cuando analizamos en qué forma la diversidad biológica puede ser un recurso básico en esa tarea, es frustrante el constatar cuán lejos estamos de ese objetivo tal como demuestran los datos que aparecen en la evaluación y que coinciden con los proporcionados por las agencias internacionales.

Los ingresos de más de 1.000 millones de personas están por debajo de un dólar diario, viviendo la mayoría de los que se desenvuelven con esos ingresos en zonas rurales altamente dependientes de los servicios de los ecosistemas, con desigualdades y patrones de bienestar que han sufrido en la última década un aumento de la brecha. El Índice de Desarrollo Humano

ha descendido en 21 países buena parte de ellos en el África subsahariana en donde las probabilidades de que un niño alcance los cinco años de edad son catorce veces menor que en un país desarrollado.

El aumento de la producción de alimentos no ha sido geográficamente homogéneo, menor en áreas como la subsahariana en la que más personas subalimentadas hay y que alcanzan la cifra en todo el mundo de 852 millones de personas.

La degradación de los servicios de los ecosistemas está dañando a muchas de las personas más pobres del mundo y es a veces el principal causante de la pobreza.

En la década de los setenta del pasado siglo, cuando surgían las primeras voces reivindicando la protección del medio ambiente, se les replicaba con el argumento de que la peor contaminación es el hambre. Desgraciadamente lo falso de este argumento lo demuestra que es en los países pobres dónde más sufren ambos problemas, la degradación de la diversidad biológica y el hambre. Falta de servicios elementales de agua, saneamiento y gestión de residuos que ocasionan la muerte de dos millones de personas al año; problemas alimentarios para poblaciones con una dieta básica de pescado que ven como descienden las capturas por la degradación de los ecosistemas acuáticos.

El patrón de “ganadores” y “perdedores” relacionado con los cambios en los ecosistemas y en particular las repercusiones de los cambios de los ecosistemas sobre las personas pobres, las mujeres y los pueblos indígenas no se ha tenido en cuenta adecuadamente en la toma de decisiones relativas a la gestión.

Uno de los aspectos que surge cuando se establecen estrategias de conservación de la diversidad biológica y que de hecho aparece en el Convenio es que el uso de los servicios de los ecosistemas además de ser sostenible sea equitativo en cuanto al reparto de beneficios. La realidad es que las formas de gestión, con un componente de privatización en algunos de ellos, han provocado que colectivos que tenían, ejercían y necesitaban el acceso a ellos se hayan visto marginados en la toma de decisiones y privados de su disfrute. En ocasiones esos grupos viven en situación de vulnerabilidad, con necesidades perentorias de agua limpia, con pérdida de su capacidad de obtener los alimentos que necesitan con una agricultura de subsistencia, incapaces en suma de adaptarse a esos cambios en la gestión.

Las estadísticas que se utilizan para medir los avances en la erradicación de la pobreza en ocasiones pueden no reflejar la realidad con exactitud y confundir las estrategias desarrolladas. Cita la EEM un estudio realizado en 17 países que encontró que el 22 % de los ingresos familiares de las comunidades rurales en regiones forestales proviene de fuentes que generalmente no se incluyen en las estadísticas nacionales, como la recolección de comida silvestre, leña, forraje, plantas medicinales y madera.

4.2.3. Tercera conclusión de la EEM

La degradación de los servicios de los ecosistemas podría empeorar considerablemente durante la primera mitad del presente siglo y ser un obstáculo para la consecución de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. En los cuatro escenarios de la Evaluación del Milenio, la proyección indica que las presiones sobre los ecosistemas continuarán creciendo durante la primera mitad del presente siglo.

La EEM no se ha limitado a constatar el estado de estos, sus amenazas actuales y las causas raíz de ellas. También ha hecho una prognosis de cómo pueden evolucionar en el futuro en cuatro escenarios de modelo de desarrollo y estrategia de reacción.

La Evaluación desarrolló cuatro escenarios, el primero de ellos considera un modelo global basado en el comercio mundial, la liberalización económica y un enfoque reactivo frente a los problemas de los ecosistemas, y una política que adoptará medidas para la lucha contra la pobreza y las desigualdades. Prevé el mayor crecimiento económico de todos los modelos y el menor crecimiento demográfico.

Un segundo modelo considera un mundo regionalizado, centrado en el proteccionismo y la seguridad concediendo poca atención a problemas externos y un enfoque meramente correctivo sobre los problemas de los ecosistemas. Estima el menor crecimiento económico y el mayor demográfico.

El tercero de los modelos tiene un enfoque fundamentalmente adaptativo, centrado en el escenario local pero con un enfoque muy proactivo sobre los problemas de los ecosistemas. Las tasas de crecimiento económico son relativamente bajas al principio pero aumentan con el tiempo, y un crecimiento demográfico similar al primero de los escenarios.

Por último un cuarto modelo simula un escenario de un mundo globalmente interconectado que utiliza tecnologías sostenibles en el aprovechamiento de los servicios de los ecosistemas con un enfoque proactivo frente a los riesgos para la biodiversidad, alcanzando un crecimiento económico alto en un contexto de crecimiento demográfico medio.

Los aspectos considerados en los modelos como generadores de cambios incluían el crecimiento económico, los cambios en el uso de la tierra y las emisiones de carbono junto a servicios de los ecosistemas caso de uso del agua, producción de alimentos, para los que ya existían modelos cuantitativos probados. Otros factores que entran en las predicciones como los ritmos del cambio tecnológico, crecimiento económico, y otros servicios de los ecosistemas más difícilmente valorables como son los recreativos y los indicadores del bienestar humano se estimaron de forma cualitativa.

En diferente forma de acuerdo con sus orientaciones en los modelos se consideran cambios en las políticas destinadas a abordar los desafíos del desarrollo sostenible, el criterio respecto de subsidios, y la lucha contra la pobreza y el hambre. Con diferente grado se plantean porcentajes de PIB destinados a la educación y programas para la transferencia de capacidades y conocimientos entre grupos regionales. En el cuarto de los escenarios se adoptan medidas para retribuir pagos a individuos y empresas que promuevan la provisión de servicios de los ecosistemas, y promoción de tecnologías que aumenten la productividad de los ecosistemas en términos de biocapacidad y que reduzcan la presión sobre los recursos hídricos, la sobreexplotación, la propagación de especies exóticas invasoras, la contaminación y el cambio climático.

Se consideran las previsible transformaciones de hábitats para aprovechamientos agrícolas cifradas en un 10-20 % de superficies en la actualidad como pastizales y bosques, concentrada en los países de bajos ingresos. En todos los escenarios el actual problema de descenso de capturas, entre un 90 y un 99 % respecto de la época preindustrial, como consecuencia del descenso de la biomasa marina y que está haciendo se exploten los niveles tróficos inferiores, se supone seguirá la misma pauta.

El fenómeno de la translocación de especies y de propagación de vectores de enfermedades con sus efectos negativos sobre las especies nativas y servicios de los ecosistemas, asociado al mayor intercambio de productos y circulación de personas se estima crecerá.

También las previsiones son pesimistas en lo que concierne a uno de los principales conductores del principal problema para la calidad de las masas

de agua como es la eutrofización, pues se estima que el aporte de nitrógeno puede aumentar en dos tercios hasta el 2050. Además de su influencia en la eutrofización, a los compuestos nitrogenados se les asocia a problemas de mayor incidencia de cáncer de estómago y metahemoglobinemia en lactantes relacionados con el consumo de agua de acuíferos con un alto contenido en nitratos. Recientemente investigaciones atribuyen al exceso de nitrógeno en los suelos la capacidad de aumentar la concentración de ozono afectando a la productividad agrícola, destrucción del ozono estratosférico y contribución al calentamiento global.

En la actualidad ya son manifiestos los cambios en la diversidad biológica como consecuencia del cambio climático, con alteración del tamaño y distribución de las especies, modificaciones en los patrones migratorios, alteración de procesos reproductivos y consecuentes cambios en la incidencia de ciertas enfermedades sobre todo las parasitarias. Uno de los ecosistemas que con mayor rapidez ha experimentado las consecuencias de los cambios en el nivel del mar y temperatura de sus aguas ha sido el de los arrecifes de coral con episodios irreversibles de blanqueo.

De acuerdo con las previsiones el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) la evidencia científica sugiere que habrá una fuerte presión sobre los servicios de los ecosistemas en todo el mundo si las temperaturas medias en la superficie aumentan más de 2 °C con respecto a los niveles de la era preindustrial, o si el ritmo es mayor de 0,2 °C por decenio. Aunque circunstancialmente en algunas regiones los cambios previstos de temperatura y precipitaciones puede ser beneficioso para algunos servicios concretos de los ecosistemas, el cambio climático y sus impactos pueden ser el elemento que más influya a nivel mundial en la pérdida de biodiversidad y de los cambios en los servicios de los ecosistemas.

Algunas otras conclusiones del resultado de la modelización según escenarios son los siguientes:

- En los cuatro escenarios, los cambios pronosticados dan por resultado un significativo aumento del consumo de los servicios de los ecosistemas, una continuada pérdida de biodiversidad y más degradación de algunos servicios de los ecosistemas.
- El aumento de la demanda de alimentos en los próximos cincuenta años, como consecuencia del crecimiento demográfico y el nivel de vida,

aumentará entre un 70 y un 85 %, y a pesar de ello no se conseguirá la seguridad alimentaria ni la mala nutrición en la edad infantil.

- Consecuentemente con lo anterior se estiman crecimientos en la demanda de agua entre un 30 y un 85 % en los países en desarrollo con un inevitable deterioro en los servicios que prestan los ecosistemas de agua dulce.
- Todos los escenarios auguran para 2050 una pérdida de especies nativas que en el caso de las plantas puede llegar al 15 % e incluso incrementarse en función del éxito o fracaso frente a amenazas como las especies invasoras, la polución y el cambio climático.

Puesto que las principales organizaciones internacionales y los estados que forman parte de ellas han consensuado en programas como los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que reformulan aquel, las metas a alcanzar para poner soluciones a los identificados como problemas críticos de la humanidad, resulta de interés qué previsiones formulan en el marco de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio respecto de ellas:

- Lo que pudiera considerarse una respuesta global a esa cuestión dice que la degradación de los servicios de los ecosistemas constituye una barrera importante para conseguir los objetivos que fijaban los ODM y formulan actualmente los ODS.
- Coinciden los cuatro escenarios en que se avanzará en la lucha contra el hambre pero a un ritmo que dificulta alcanzar los objetivos establecidos pues impactos sobre los servicios de los ecosistemas como la disponibilidad de agua, el cambio climático y la pérdida de suelo fértil disminuyen el rendimiento de los cultivos.
- Aunque tres de los escenarios anuncian reducciones de la mortalidad infantil entre un 10 y un 60 % los comentados cambios en los ecosistemas limitan las expectativas en la disminución de enfermedades muy influyentes en esta meta, como la diarrea y la malaria, quedan muy condicionadas por los mismos impactos del apartado anterior, cambio climático y deterioro de la calidad de las masas de agua.
- Uno de los escenarios, el modelo más alejado del desarrollo sostenible, llevaría a que la brecha sanitaria entre norte y sur se agrandase. En todos los casos se advierte del riesgo de que los cambios en los ecosistemas

aumenten el riesgo de enfermedades como el cólera y la malaria, también de la aparición de nuevas enfermedades como la realidad reciente ha demostrado. Son conocidas las relaciones de factores ambientales con la prevalencia de enfermedades como malaria, esquistosomiasis, filariasis linfática, encefalitis japonesa, fiebre del dengue, leishmaniasis, enfermedad de Chagas, meningitis, cólera, virus del Nilo Occidental, y enfermedad de Lyme. Los efectos de las condiciones sanitarias sobre otros aspectos es entendible por el dato de que la malaria es responsable por el 11 % de las muertes en África, y se calcula que en 2000 el PIB de la región podría haber sido 100 billones de dólares mayor (o sea, un 25 % mayor) si se hubiera erradicado la malaria hace 35 años.

El gran reto para los supuestos considerados para el futuro en la EEM es cómo compatibilizar la creciente demanda de servicios de los ecosistemas con su preservación para lo que considera necesario introducir cambios, no adoptados hasta ahora o no suficientemente implementados, en las políticas relacionadas.

Esos cambios y los instrumentos para que sean posibles son relevantes pues además de requerir inversiones en tecnologías verdes implica adoptar políticas proactivas que se anticipen a los problemas así como medidas de adaptación que incluyen el fomento de la gestión participativa. Aun así, y reconociendo que las medidas hasta ahora adoptadas han sido eficaces, no han sido suficientes frente al ritmo e intensidad de las presiones sobre los ecosistemas. Una de las medidas que ha contribuido a mitigar los efectos de esas presiones ha sido el incremento de la declaración de espacios naturales de diferentes niveles de protección y con planes de uso y gestión que garantizan la preservación de sus ecosistema y el uso sostenible de sus servicios. Los parques nacionales, reservas de la biosfera, humedales Ramsar² y otras figuras de carácter más local cubren hoy cerca del 12 % de la superficie del planeta.

La gestión sostenible de los ecosistemas debe encontrar respuestas para cinco fuerzas indirectas pero que condicionan los cambios en los ecosistemas: los cambios demográficos y los procesos migratorios; las condiciones sociopolíticas que incluyen conflictos y procesos participativos; crecimiento económico, relaciones comerciales e inequidad; factores culturales y cambios tecnológicos. La mayor eficiencia de las tecnologías en el aprovechamiento de los recursos naturales puede verse parcialmente contrarrestada por las

² Alude a la ciudad iraní en la que en 1971 se firmó la convención sobre los humedales de importancia internacional.

conductas de los consumidores y el efecto sobre ellas de mayores niveles de renta. En una forma similar la práctica de técnicas sostenibles en silvicultura pueden resultar irrelevantes frente a la presión que sobre la diversidad biológica de los bosques pueden tener otras actividades en principio no vinculadas a la gestión forestal como la construcción de infraestructuras, la minería o la misma agricultura.

Debilidades comunes en la gobernanza tienen una incidencia que disminuye la eficacia de las estrategias para la conservación de la diversidad biológica, sucede con la corrupción y la falta de medidas reguladoras y deficiencias en los organismos de control; los incentivos económicos mal direccionados y las ineficiencias del mercado; nivel no suficiente de inversiones en el desarrollo y transferencia de tecnologías más eficientes; factores políticos que limitan la participación de los grupos más vulnerables y déficit en el conocimiento científico y en el acceso al existente sobre el funcionamiento de los ecosistemas.

Estos déficits institucionales se agravan por la falta de conciencia política de parte de la sociedad y de los propios responsables políticos y en general un elevado desconocimiento de las amenazas que pesan sobre los ecosistemas y de su repercusión sobre nuestro bienestar.

La EEM formula medidas transversales y otras específicas según sectores de actividad que pueden hacer posible salvar los obstáculos que han limitado los resultados de las políticas para la conservación de la diversidad biológica.

Las principales recomendaciones en el ámbito institucional y gobernanza son:

- Mejorar la coordinación de las organizaciones y gobiernos para una aplicación eficaz de los acuerdos internacionales para la conservación de la diversidad biológica e inclusión de esta consideración en el diseño de planes y programas de las diferentes políticas sectoriales caso de los acuerdos económicos y de comercio.
- Lograr a nivel internacional una verdadera “democracia de la diversidad biológica” que garantice transparencia en la gestión pública y privada de la diversidad biológica y asegurando la participación de todos los sectores implicados, aspecto este que mejora la eficacia, comprensión y aceptación de las medidas propuestas.

En las políticas económicas, partiendo del reconocimiento de que en esta área pueden entrar en juego poderosos instrumentos económicos, se sugiere

aumentar la capacidad institucional para aplicar dichos instrumentos que corrijan el problema que supone el que en general los servicios de los ecosistemas no responden a las señales habituales de los mercados.

Ciertos subsidios fomentan que el uso de los servicios de los ecosistemas sean excesivos como sucede con los que en la Unión Europea se otorgan en el marco de la política agraria común que alcanza una media de 324.000 millones de euros anuales. Esto favorece una producción excesiva de alimentos a costa de mayor consumo de recursos hídricos y de aplicación de pesticidas. Se propone la remoción de subsidios y estudiar la posible transferencia hacia la gestión sostenible en la producción agrícola pero se advierte de la complejidad de este tipo de medidas por la posible incidencia en los mercados externos y a nivel interno en ciertos colectivos del mundo rural.

Para la actividad agrícola se propone eliminar aquellas políticas de subsidios que implican efectos ambientales, económicos o sociales adversos. Es el caso de incentivos que inciden en uso excesivo de fertilizantes o de productos fitosanitarios, también subsidios o precios por debajo del costo en el agua de riego. El papel de las mujeres, tanto en la producción de alimentos como en su uso, debe de promocionarse como un factor clave de la seguridad alimentaria.

Otra opción sugerida es establecer impuestos por aquellas actividades que generen pasivos en los ecosistemas caso de la aplicación de nutrientes, uso de productos fitosanitarios o derechos por prácticas de ecoturismo. Los Mecanismos de Desarrollo Limpio establecidos en el Convenio de Kyoto posibilitan la financiación de proyectos de biomasa y aun cuando las expectativas de inversiones al amparo del Fondo de Carbono no se han cumplido sigue siendo una oportunidad a considerar en torno a la gestión de los bosques. En algunos países se han comenzado a implementar procedimientos en los que promotores de proyectos que afectan a los ecosistemas aporten fondos para proyectos de compensación de conservación de la diversidad biológica.

Los procedimientos que certifican productos cuya elaboración se hace con criterios de sostenibilidad y su preferencia por parte de los consumidores constituyen un incentivo para potenciar el aprovechamiento con esos criterios de los servicios de los ecosistemas.

En los años que el debate sobre la necesidad de emprender políticas de protección del medio ambiente estaba aún dominado por la opinión de que el costo de esas políticas no era asumible surgió entre los defensores de la

conservación del medio ambiente, como argumento, la pregunta de cuanto costaba no actuar. En los planteamientos políticos sobre las estrategias de conservación de la diversidad biológica de alguna manera el debate se sigue planteando, medio año más tarde, en similares términos como consecuencia de que las decisiones relativas a la gestión de los recursos y a las inversiones están planteadas en términos exclusivamente monetarios por lo que la Evaluación en su propuesta de medidas económicas enfatiza la necesidad de incorporar la valoración de los servicios que prestan los ecosistemas, las pérdidas asociadas a su degradación, el uso de herramientas como el análisis costo beneficio y la consideración de los conocimientos tradicionales.

Para dos sectores específicos y de gran influencia en la gestión de la diversidad biológica, la gestión de los recursos pesqueros y los bosques, en la evaluación se formulan recomendaciones que están basadas en la problemática detectada en el análisis previo.

Los conflictos entre los recursos pesqueros como fuente de alimentos y recurso económico para poblaciones de significativa problemática socioeconómica y la conservación de la diversidad biológica se vuelve a considerar posteriormente en el análisis detallado de los recursos hídricos, pero anticipamos aquí consideraciones de la Evaluación que propone la reducción de la capacidad de pesca en los mares, mejorar la regulación tanto de las artes de pesca como de las cuotas, el furtivismo, la regulación de la acuicultura y la extensión de áreas marinas protegidas.

En el sector forestal se propone incrementar la capacidad de fijación de carbono en las masas forestales y actividades agroforestales consolidar las medidas de fijación de manera complementaria y congruente con la política forestal y de prevención de incendios e inclusión de acuerdos financieros para prácticas de gestión forestal sostenible, potenciando de las comunidades locales en apoyo de iniciativas en esa dirección.

Las respuestas que pueden aportar los consumidores y los agentes sociales en general pueden desempeñar un papel trascendente en las estrategias para la conservación de la diversidad biológica. Una de esas acciones es orientar sus comportamientos como consumidores no solo como se comentaba anteriormente hacia aquellos productos que se hallen certificados ambientalmente, si no considerando la procedencia de los bienes de consumo en relación con el estado de conservación y amenazas de los ecosistemas originarios. Desde el punto de vista corporativo al final de este trabajo se consideran que instrumentos pueden utilizarse para una gestión que demuestre el compromiso

con la sostenibilidad y como demostrar el rigor de esta ante los agentes sociales en general.

La educación ambiental, la información y la comunicación, aplicando los principios propuestos en 2002 en la cumbre de Johannesburgo, a nivel de público en general y de los responsables de la toma de decisiones es un camino hacia una mejor comprensión de cómo afectan sus comportamientos a la conservación de la diversidad biológica. Esta labor que debe iniciarse en los primeros niveles educativos y continuar a lo largo de todo el ciclo, incluyendo los estudios universitarios, así como fuera de la educación formal, necesita recursos humanos y económicos para no quedarse en un mero recurso testimonial.

Los organismos financieros multilaterales han sentado muy útiles precedentes al exigir en los proyectos a los que aportan financiación en países en desarrollo la consideración de los derechos de las poblaciones indígenas sobre sus tierras y los aspectos culturales que les unen a ellas. No obstante falta aún superar obstáculos, creados por barreras políticas, sociales y culturales, para que estos colectivos asuman el protagonismo que les corresponde por su vinculación tradicional con la naturaleza, por ser quienes sufren las consecuencias de la degradación de los ecosistemas y porque su participación llevará al compromiso para la conservación.

Hasta un pasado reciente el progreso tecnológico ha ido en detrimento de la diversidad biológica utilizando sus mayores prestaciones para extremar el aprovechamiento de los servicios de los ecosistemas. En la actualidad tanto las restricciones que esa sobreexplotación ha causado como la mayor sensibilidad conservacionista han provocado que los avances se orienten hacia lo que se ha dado en llamar tecnologías verdes. Son ejemplos la mejora en las técnicas de riego, el uso de fertilizantes sustitutivos de los artificiales o técnicas biológicas de control de plagas. El reto estriba en confirmar las ventajas sostenibles de las nuevas tecnologías y en que se hagan accesibles en los países menos desarrollados.

La recurrente referencia que se ha hecho a la presión que la agricultura ejerce sobre los ecosistemas, cómo depende de los servicios que prestan estos, el crecimiento de esta actividad para satisfacer la mayor demanda de alimentos, y la importancia que tiene en los países en desarrollo, todo ello hace que sea en este sector dónde es más necesario el desarrollo, evaluación y difusión de tecnologías que puedan aumentar la producción sostenible de alimentos sin ejercer mayor presión por el uso de agua ,nutrientes o de pesticidas.

También se abren posibilidades de desarrollo de técnicas para la restauración de espacios degradados aprovechando experiencias existentes en las medidas correctoras de impactos ambientales en la construcción de infraestructuras o remediación de suelos contaminados.

Se ha analizado anteriormente como el cambio climático será en los próximos años la presión que más impacto ejerza sobre la conservación de la diversidad biológica por lo que se han emprendido acciones desde muchos frentes para adoptar medidas de mitigación y adaptación junto con un intenso esfuerzo para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a niveles que permitan no superar el aumento de temperatura de 2 °C que el IPPC considera crítico para que los efectos no sean catastróficos. Existen ya tecnologías y estrategias que hagan posible un modelo económico bajo en carbono pero también en este caso es necesario un esfuerzo institucional que permita la accesibilidad a ellas de forma generalizada.

En los países cuya diversidad biológica es más alta generalmente no existe un conocimiento científico suficiente acerca de ella y de los procesos ecológicos que interactúan lo que supone un freno para que las estrategias de conservación resulten eficaces. Tampoco es habitual que posean los recursos necesarios, económicos, humanos y técnicos, para superar esas carencias siendo imprescindible la cooperación internacional y compartir los conocimientos científicos existentes, considerando en esa colaboración la formación de especialistas de los propios países.

Un resumen del diagnóstico de las tendencias en lo que se refiere a la prestación de los servicios de los ecosistemas refleja:

- En la provisión de alimentos crece en las subcategorías de cultivos, ganadería y acuicultura por mejoras en la producción, decrece en las pesquerías por la sobreexplotación y también los alimentos de origen silvestre por merma en la producción.
- La producción de fibras en madera, algodón o seda se mantiene estable con descensos que son compensados por nuevos bosques o cultivos.
- La tendencia es a disminuir los recursos genéticos por la extinción de especies y pérdida de recursos genéticos en los cultivos.
- Los productos asociados a la bioprospección disminuyen por la pérdida de diversidad biológica.
- Los recursos hídricos descienden por su uso insostenible en las ciudades, industria y agricultura.

Otro tipo de servicios son los de regulación que experimentan estas tendencias:

- La regulación de la calidad del aire disminuye por haberse superado la capacidad de la atmósfera de absorción de contaminantes mientras que la regulación del clima aumenta a nivel global en cuanto a la capacidad de secuestro de dióxido de carbono pero desciende a nivel local y regional.
- La regulación hídrica varía espacialmente pero empeora la calidad al tiempo que aumenta la erosión por la degradación de los suelos.
- El uso de pesticidas reduce la capacidad natural de control de plagas y las enfermedades transmisibles varían su incidencia según circunstancia de los ecosistemas locales.
- La pérdida de diversidad biológica ha ocasionado un descenso comprobado de polinizadores y una menor capacidad de regulación de riesgos naturales.

Por último se acusa un descenso de valores espirituales ligados a bosques o monumentos naturales tanto como una pérdida de la calidad en los espacios protegidos.

4.3. Diversidad biológica y recursos para la farmacia: bioprospección

Escribir sobre la importancia que históricamente han tenido los productos naturales como fuente de aplicaciones farmacéuticas hace obligado, con el riesgo de que parezca un recurso culterano, citar a autores como Discórides, Galeno o Plinio el Viejo por más que a este último algunos le acusen de copiar literalmente al primero de ellos e incluso no siempre con el debido rigor. Discórides sirve bien para resaltar esa relación entre diversidad biológica y recursos para tratar enfermedades cuando en su obra describe 620 plantas, 90 minerales y 30 productos de origen animal útiles con ese fin. Hasta llegar al presente en que el 26 % de todos los nuevos medicamentos aprobados en los últimos 30 años son de origen natural o derivados obtenidos a partir de ellos por procedimientos semisintéticos. En el periodo 1981-2010 el 34 % de los medicamentos contra el cáncer estuvieron constituidos por especialidades farmacéuticas directamente naturales, productos de origen botánico o bien preparados obtenidos directamente de ellos.

En los intentos de encontrar modos de evaluar en términos económicos lo que los servicios de los ecosistemas aportan en el caso concreto de la bioprospección se ofrecen datos como que de ellos proceden 10 de los 25 fármacos más vendidos en 1997 en EE UU y que representan el 42 % de las ventas de toda la industria o que entre el 10 % y el 50 % de los diez medicamentos más vendidos de cada una de las 14 principales compañías farmacéuticas son o bien productos naturales o entidades derivan de productos naturales. Las primeras estimaciones que se hicieron del valor anual de medicamentos de este origen oscilan a finales del siglo pasado entre 203 y 600 millones de dólares pero frente a esos datos en el año 2000 solo la venta de los fármacos Taxol y Taxotere, que derivan de una sola especie la *Taxum baccata*, fue de 2,3 mil millones de dólares en ventas de medicamentos. En estos análisis económicos es necesario considerar muchos factores como que en ocasiones los productos no proceden de la bioprospección en sistemas naturales como en el caso del fármaco Navelbine derivada de la vinca de Madagascar (*Catharanthus roseus*) con ventas de 115,4 millones de dólares en 2000, y cuya procedencia es un jardín tropical común. Junto a ello las actividades de bioprospección aportan recursos económicos en forma de centros de estudio e ingresos por la cosecha, procesamiento, fabricación, distribución y venta al por menor de productos. Otros han estimado en 109 mil millones de dólares el valor de los potenciales productos presentes en los bosques tropicales y aún no descubiertos, con la limitación de los costos de identificación y desarrollo que estiman pueden ser disminuidos con los recursos de la etnobotánica y ampliando los campos a otros organismos como microbios y artrópodos.

Tras un descenso del interés de las grandes empresas farmacéuticas por la bioprospección, hasta el punto de que la mayoría de ellas abandonaron la investigación en el sector, se ha recuperado su interés pero con un enfoque orientado hacia los recursos genéticos que intervienen en los procesos de biosíntesis y el uso de los potentes avances tecnológicos y conocimiento de los procesos de síntesis química para su obtención o modificación en el laboratorio. También ha surgido un nuevo interés por organismos marinos como agentes anticancerígenos que tienen su fundamento en que las condiciones abióticas que tienen en este medio les hace generar toxinas potentes similares a las que pueden ser eficaces en productos antitumorales.

En esa nueva estrategia las empresas farmacéuticas que investigan en productos naturales han formado sus particulares colecciones de plantas, animales y recursos genéticos microbianos que en el caso de sociedad española Pharma-Mar está compuesta por 200.000 extractos de 100.000 diferentes organismos

marinos (invertebrados marinos y microorganismos) disponibles para hacer el estudio de 167 fármacos. En el ámbito académico y de institutos de investigación en Europa ejemplos como el Instituto de Medicina Tropical de Amberes y el Instituto Pasteur de Francia poseen colecciones de gran interés.

Aun así hoy es minoritario el gasto en I+D en este sector frente al presupuesto total que invierten en los procesos convencionales de desarrollo de nuevos medicamentos y las pocas que escapan a esa situación y persisten en trabajar con productos naturales utilizan colecciones de microorganismos que adquieren en laboratorios japoneses.

Continúa vigente la importancia de los productos naturales como esperanza del desarrollo de fármacos, también para las grandes empresas del sector, pero generalmente quienes desarrollan directamente las labores de investigación son centros de carácter gubernamental o vinculados a universidades, junto con pequeñas empresas de biotecnología, con los que colaboran las grandes empresas farmacéuticas para ahorrar costos. Un ejemplo de programas para fomentar esa colaboración es la Iniciativa sobre Medicamentos Innovadores (IMI), con financiación público-privada europea para apoyar proyectos de investigación y formar redes de expertos industriales y académicos para impulsar la innovación farmacéutica en Europa.

En torno al Protocolo de Nagoya para el acceso y compartición de los beneficios del uso de los recursos genéticos las preocupaciones de la industria farmacéutica giraban en torno a la falta de claridad y transparencia con respecto a las normas y procedimientos nacionales, la excesiva burocracia y la diversidad de los procesos de consulta pública a nivel nacional. De hecho su opinión es que desde que se creó el CDB, la industria farmacéutica ha experimentado un aumento de las dificultades para obtener acceso a los recursos genéticos y en muchos países ha terminado en fracasos. De hecho en el caso de los brotes de influenza aviar A (H5N1) a finales de 2006, Indonesia se negó a compartir las muestras de virus con la OMS, alegando que era injusto dar acceso de las empresas farmacéuticas y amparándose precisamente en el Convenio sobre la Diversidad Biológica.

La Federación Internacional de la Industria del Medicamento (FIIM) ha desarrollado “Directrices sobre el acceso a los recursos genéticos y participación equitativa en los beneficios derivados de su utilización” en forma de una propuesta de buenas prácticas que son criticadas por su generalismo. La FIIM es una organización sin ánimo de lucro, no gubernamental, que representa a las asociaciones industriales nacionales y a las empresas farma-

céuticas, de biotecnología y vacunas basadas en la investigación de ambos, países desarrollados y en desarrollo.

Las críticas de la industria farmacéutica se dirigen hacia los puntos focales aduciendo que crean barreras comerciales e interfieren en los procedimientos reglamentarios existentes, tales como solicitudes de patentes, las autorizaciones de comercialización o el despacho de aduanas. En su opinión, los puntos de control deben centrarse en la recopilación de información en lugar de una función fundamentalmente sancionadora y que las autoridades nacionales competentes deberían desempeñar un papel central en cualquier actividad de control, ya que tienen más experiencia y mejores conexiones con las instituciones del CDB.

Los reparos de las industrias farmacéuticas señalan también a que cuando importan recursos genéticos la mayor carga de la tramitación, que hace que la cadena de producción se alargue y encarezca el proceso, recae en la fase del producto acabado y no en el origen de las fases primarias de recolección. Pero el hecho de que muchos de quienes realizan esta función carezcan de capacidad técnica para cumplir las tramitaciones del protocolo podría tener importantes consecuencias económicas negativas en la innovación y desarrollo de productos, y también para los proveedores de recursos genéticos.

La OCDE ha aprobado unas directrices para el uso de recursos genéticos como código de conducta que debe ser seguido por los Centros de Recursos Biológicos si se adhieren a la Red de Centros de Recursos Biológicos Global (*Global Biological Resource Centre Network*, GBRCN). Esas buenas prácticas abarcan cuatro aspectos fundamentales:

- en la adquisición externa de material biológico están obligados a revelar la fuente del material biológico y debe ir acompañada de información sobre el país de origen, la cantidad y el número de colección.
- deben de elaborarse bases electrónicas de datos basados en la información autenticada y validada que deben conservar la trazabilidad que permita comprobar el cumplimiento de las leyes nacionales.
- los materiales deben ser distribuidos de acuerdo a la política de la institución depositaria en la que se debe tener en cuenta toda la legislación nacional e internacional. Un pedido puede ser procesado sólo cuando se hayan completado todos los documentos que lo acompañan. Además se debe llevar un registro de todas las solicitudes incluidas las que han sido rechazadas por cualquier motivo.

- se ha de realizar un procedimiento de auditoría por año por el personal del centro y otro externo por personal calificado para analizar si los procedimientos correctos se han puesto en marcha.

Existen a pesar de ello lagunas que comienzan porque no todo el material se deposita en colecciones o figura en los registros y el sistema de seguimiento se interrumpe cuando la cepa se transfiere a un usuario.

Hay notables ejemplos entre medicamentos utilizados en el mercado farmacéutico y cuyo origen es natural y obtenido de fuentes provenientes de la medicina indígena y uno de ellos es la quinina, obtenida de la corteza de árboles del género *Cinchona*, que hasta la actualidad es el mejor remedio contra la malaria o la Vincristina y Vinblastina medicamentos antineoplásicos obtenidos de la vinca de Madagascar (*Catharanthus roseus*) y probados contra la leucemia infantil y el linfoma de Hodgkin, respectivamente.

Los pueblos indígenas han vivido en el mismo contexto geográfico y su única fuente de medicamentos ha sido durante años, y aún hoy en algunos casos, los productos naturales y cuyas propiedades no están exclusivamente determinadas por su composición química pues pueden estar condicionadas por la forma en que son preparados y consumidos lo que explica algunos fracasos de la farmacología para su uso comercial. Por esa razón es tan crucial establecer formas eficaces y equitativas de colaborar con los colectivos indígenas y evitar se pierdan oportunidades tal que la que puede ofrecer por ejemplo la evaluación hecha en los humedales del delta del Mekong donde se identifican 280 especies de plantas de interés farmacológico que en la zona hacen que se usen a partir de ellas 150 medicamentos.

El concepto de medicina botánica incluye el uso de la planta, parte de ella o frutos que produce directamente para uso medicinal sin que como sucede en los productos farmacéuticos derivados haya habido un procedimiento de extracción de los compuestos bioquímicos que contienen. El proceso completo incluye su recolección silvestre o de cultivo, los de intermediación comercial y su puesta a punto para su venta por distribuidores especializados. Muchos de los preparados conocidos como “nutracéuticos”, con propiedades probadas o supuestas para mejorar la salud, tienen un origen natural o aprovechan productos extraídos de esa fuente como té con ginseng, leches fermentadas con probióticos, zumos de fruta enriquecidos con calcio y harinas enriquecidas con ácido fólico.

La mayor demanda de productos de origen orgánico por parte de los consumidores ha llegado también al sector de los productos para la higiene

personal incluyendo los cosméticos, y los mismos agentes que intervienen en la medicina botánica proveen de productos y derivados naturales que contienen saponinas, flavonoides, aminoácidos, antioxidantes y vitaminas, compuestos a partir de algas marinas, la quitina de crustáceos y aceites de pescado. Es un mercado que al ser receptivo a la sostenibilidad del cultivo o recolección y en ocasiones estar vinculado al llamado comercio justo, ofrece la posibilidad de tener relevancia en la estrategia de conservación de la diversidad biológica.

Se citaba anteriormente la premonitoria advertencia que en 1962 realizó Rachel Carson en su obra “La primavera silenciosa” alertando del peligro del uso de productos químicos sintéticos, no biodegradables, bioacumulables y de elevada toxicidad para la biocenosis, y de los cuales la mayor parte se utilizaba como agentes fitosanitarios para aumentar el rendimiento de los cultivos. De ahí el interés de buscar una alternativa basada precisamente en la diversidad biológica que mediante el control biológico pueda proteger a los cultivos de depredadores, parásitos o patógenos en forma de plagas que ha tenido éxito en la protección de los cultivos de olivares, cítricos, café, propagación de especies invasoras y control de agentes vectores de enfermedades parasitarias.

Otra buena referencia respecto del uso de diversidad biológica para el control de plagas de especies invasoras es el caso de la salvinia gigante (*Salvinia molesta*), un helecho acuático, originario de América del Sur que encuentra su hábitat más favorable en aguas estancadas y cálidas en las que puede desarrollarse formando capas sobre la superficie de hasta 60 centímetros de espesor cuando no hay presencia de depredadores naturales. En esas condiciones limita el acceso de la luz solar, desequilibra el balance de oxígeno y culmina en un proceso de alteración de la biocenosis desplazando a las plantas nativas y a los macroinvertebrados. El control de la especie invasora por medio de plaguicidas sintéticos resulta ineficaz y nocivo. Los daños económicos por la pérdida de calidad del agua, descenso de pesquerías y dificultades para la navegación han alcanzado en EE UU y Australia miles de millones de dólares.

La *Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization* buscó en el ambiente natural de América del Sur algún depredador de la salvinia y ensayó liberando poblaciones de un gorgojo que resultó ineficaz, pero en cambio otro en apariencia similar tuvo un éxito rotundo permitiendo que las masas de agua recuperarán rápidamente sus condiciones naturales.

Este caso permite extraer dos importantes conclusiones. Que un organismo disponible gracias a la diversidad biológica y aplicado al control biológico puede ahorrar grandes sumas de dinero e incluso en algunos casos vidas humanas y que los mecanismos de acción de los organismos responsables pueden ser tan específicos que, en especies aparentemente similares, se obtengan resultados muy dispares. Establecer un determinado mecanismo de biocontrol requiere un proceso de bioprospección sobre el sujeto pasivo de la agresión biológica y del que actuará sobre el mismo. Estos agentes que ejercen el control biológico son de características muy variadas tal que plantas, virus, bacterias, hongos, insectos, nematodos, y muchos otros tipos de invertebrados, buena parte de ellos microscópicos y por eso mismo no incluidos generalmente en las listas de especies en peligro de extinción que establecen las estrategias de conservación de la biodiversidad. Es este un problema ya expuesto al considerar las limitaciones de las herramientas de conservación utilizadas hasta el momento y que aquí encuentra un ejemplo que se puede plantear también desde un punto de vista economicista. Una plaga nociva para la vid en Australia ha podido ser controlada por la acción de tres agentes sinérgicamente, un hongo, un escarabajo, y un insecto y ninguna de las tres especies de control era previamente considerada de interés económico.

Evidentemente en este tipo de procesos existe el riesgo, que de hecho se manifestó en algunos casos, de que un desequilibrio en las pirámides de población de lugar a que los agentes de control acaben transformándose en parásitos y para evitarlo se han establecido nuevos y rigurosos protocolos que han aumentado significativamente la seguridad.

El interés en términos económicos del biocontrol debe de considerar además de la propia actividad del sector y sus inversiones en investigación y desarrollo, el ahorro respecto de los plaguicidas convencionales en daños para la salud humana y veterinaria, contaminación del aire y de las masas de agua o desaparición de agentes polinizadores. Estos costes incluyen los costes por problemas de salud de los operarios que los aplican los debidos a atenciones veterinarias de animales afectados, contaminación de aguas superficiales y subterráneas, las pérdidas de polinizadores, costes indirectos que en EE UU se estima alcanzan 8 mil millones de dólares al año.

En los últimos años ha ido adquiriendo mayor importancia la biomimética que es como se denomina la especialidad que a partir del estudio de las características técnicas de materiales constitutivos de los organismos vivos trata de buscar imitarles encontrando aplicaciones fundamentalmente

tecnológicas. Por esa razón los primeros resultados obtenidos han sido en el campo de materiales cerámicos o diseño de superficies hidrófugas y auto-limpiantes por ejemplo.

El fundamento de esta especialidad reside en el hecho de que en la naturaleza la biología actúa según un proceso darwiniano que selecciona las estructuras más funcionales con mayor eficiencia en el uso de materia y energía en virtud de un proceso evolutivo de millones de años. Ese proceso también se desarrolla a nivel de estructura molecular y con el objeto de que las especies alcancen el mejor estado de vida y reproductivo, lo que hace abrigar esperanzas fundadas de que también en el campo de la farmacia la biomimética tendrá futuras aplicaciones que han comenzado a desarrollarse en productos para cuidado personal pero también y con mayor potencial de desarrollo e investigación en procedimientos de síntesis, procesos de cristalización, etc.

Los propios componentes de la diversidad biológica pueden ser útiles frente a la necesidad de establecer indicadores que permitan proporcionar información sobre el estado de conservación de los ecosistemas y la naturaleza de los impactos que les afectan. El biomonitoreo o control ambiental mediante indicadores biológicos es una alternativa a los métodos convencionales de control mediante procedimientos analíticos basados generalmente en técnicas instrumentales. Este tipo de herramientas presentan varios problemas como su costo, la falta de armonización entre límites de detección y umbrales de impacto, la falta de representatividad más allá del Instante de muestreo o incluso la dificultad de encontrar parámetros de determinación analítica para cada potencial impacto. El biomonitoreo utiliza un amplio tipo de organismos (peces, moluscos, musgos, lombrices, ...) que tienen propiedades como la bioacumulación de contaminantes o directamente se pueden asociar a niveles de calidad.

El hecho de que en la actualidad solamente unos pocos sectores de la agricultura y actividades asociadas dependan directamente de plantas proporcionadas por la biodiversidad no debe de ocultar el interés y esfuerzo que se viene haciendo para que este recurso sirva para una actividad agrícola más sostenible y que contribuya a alcanzar las metas de seguridad alimentaria y lucha contra el hambre de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030. Desde empresas de muy diferente tamaño hasta universidades y jardines botánicos se trabaja para que la diversidad biológica vegetal proporcione nuevas variedades de semillas en procesos caros y largos que utilizan la ingeniería genética.

El interés comercial en obtener semillas que se adapten a condiciones de cultivo en ambientes de la mayor amplitud de condiciones posibles ha tenido como consecuencia una uniformidad genética que hace que sean más vulnerables a las plagas y enfermedades, se necesiten tratamientos fitosanitarios más intensos con las repercusiones negativas sobre la diversidad biológica ya comentadas. De ahí el interés en acceder a bancos de germoplasma primitivos que mejoren la resistencia de los cultivos a la enfermedad, mayor diversidad genética y potencial de control biológico.

El acceso al material genético encuentra cada vez mayores barreras en los países, dificultades por incidencias con las patentes, y mayor peso de grandes corporaciones que desplazan a los organismos públicos y a las empresas de carácter local.

Cada vez es más difusa la frontera entre las diversas ciencias experimentales y el caso de todo lo concerniente a la conservación de la diversidad biológica es representativo de ese hecho pues están implicadas ciencias de la salud, áreas consideradas en terminología ya en desuso como ciencias de la naturaleza y buena parte de las ingenierías en su acepción actual. La implicación es desde diversas perspectivas, como fuente de conocimiento para profundizar en el estudio de los complejos procesos que tienen lugar y mejorar las estrategias de conservación y como potencial uso de ese conocimiento para nuevos desarrollos en las actividades propias de cada una de ellas. Y en ese sentido permite extender el corpus de conocimiento ampliando posibilidades que compensen la menor demanda profesional en campos en recesión. Así el conocimiento que los profesionales de la farmacia poseen en microbiología o botánica, como ejemplos no únicos, abren posibilidades en técnicas como la biorremediación.

Un pasivo ambiental heredado de épocas en que prevalecía el interés económico en detrimento de la protección del medio ambiente, y que se siguen generando en la actualidad en países en desarrollo, es la contaminación de suelos por actividades extractivas, minería y petróleo, vertederos de residuos industriales o los espacios de esas instalaciones que los generaban cuando han entrado en un proceso de obsolescencia. El avance en el conocimiento de los organismos que componen la diversidad biológica ha permitido identificar especies superiores como las plantas o microscópicas como ciertas bacterias capaces de extraer o metabolizar a productos inocuos los contaminantes acumulados en los suelos.

Un paso más allá de la biorremediación están los objetivos de la restauración ecológica que pretende devolver al estado primigenio un ecosistema

degradado y no necesariamente por la contaminación del suelo si bien pueden coincidir ambos procesos, como puede ser el caso de lugares en los se ha desarrollado minería a cielo abierto u otros espacios afectados por acciones que legalmente deben ser objeto de recuperación ambiental. Obviamente el procedimiento a seguir estará fundado en invertir el proceso de pérdida de diversidad biológica y requiere un conocimiento científico y técnico de las características bióticas y abióticas específicas del espacio a restaurar lo que suscita el interés de empresas especializadas y también movimientos de organizaciones no gubernamentales ejemplares como la *Society for Ecological Restoration*.

Esta ONG busca que la reversión de los procesos de degradación de la diversidad biológica compatibilicen un ecosistema en equilibrio que a la par produzca bienes para los hombres y respete los valores culturales vinculados al uso de la naturaleza. Desde ese punto de vista la restauración ecológica se convierte en un componente fundamental de los programas de conservación y desarrollo sostenible en todo el mundo en virtud de su capacidad inherente para proporcionar a las personas la oportunidad de no sólo reparar el daño ecológico, sino también mejorar la condición humana.

El camino hacia la recuperación de condiciones históricas del ecosistema viene determinado por el conocimiento de estas y condiciona el proceso de restauración pero pueden existir limitaciones en función del grado de deterioro para alcanzar ese objetivo ideal. A pesar de ello el comienzo del proceso parte de una adecuada combinación del conocimiento de su estructura, composición y funcionamiento antes de su regresión para lo que puede ser de ayuda el estudio de ecosistemas similares inalterados recabando información acerca de las condiciones ambientales ecológicas, culturales e históricas del ecosistema de referencia.

Para la *Society for Ecological Restoration* la restauración ecológica es un proceso que por incluir las interrelaciones entre la naturaleza y la cultura, involucra a todos los sectores de la sociedad, y permite la participación plena y efectiva de las comunidades indígenas respetando y recuperando sus derechos. Por esas circunstancias intrínsecas la restauración ecológica requiere la integración del conocimiento y la práctica, apoyándose en la ciencia y otras formas de conocimiento, en las lecciones aprendidas de las experiencias prácticas que son esenciales para determinar y establecer las prioridades científicas. Confirmando la aseveración inicial que afirmaba el alcance más ambicioso frente a la remediación ambiental, la restauración es

una herramienta fundamental para lograr la conservación de la biodiversidad, la mitigación y adaptación al cambio climático, la mejora de los servicios ambientales, la promoción del desarrollo socioeconómico sostenible, y la mejora de la salud humana y el bienestar.

En ese contexto es significativo el impulso de la FAO a los llamados “sistemas agroforestales”, combinación de la producción forestal con cultivos agrícolas que junto a beneficios ambientales como el secuestro de carbono, consiguen la mejora del equilibrio hídrico, la protección de suelos y en general la mejora de la diversidad biológica, que también contribuye a la seguridad alimentaria. En su programa de reducción de la pobreza y del hambre el Departamento Forestal de la FAO, en cooperación con el Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF), el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y el Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD), ha seguido los criterios del Convenio sobre la Diversidad Biológica que protege los derechos de los colectivos indígenas sobre los recursos de ésta y fomenta el uso de los conocimientos propios favoreciendo el intercambio de germoplasma de árboles frutales autóctonos agricultor a agricultor, y prestando asistencia técnica para la gestión a nivel local de esos cultivos mixtos. En un marco de uso de técnicas de bajo costo, adaptadas a usos tradicionales y culturales de los frutos, agricultores de subsistencia han conseguido plantar, seleccionar, y mejorar las frutas indígenas, como la marula (*Sclerocarya birrea*) en África del Sur, donde los rendimientos de los árboles cultivados aumentaron hasta 12 veces con un tamaño medio de la fruta de 29 g, mientras que los producidos por los árboles en el bosque natural son de 21 g.

Los beneficios de estos programas inciden de forma directa y transversal en el logro de las metas de los Objetivos de Desarrollo 2030 y vuelven a poner en evidencia la importancia de las estrategias para la conservación de la diversidad biológica. Se promueve la seguridad alimentaria y nutricional de manera que mejora el sistema inmunológico en poblaciones muy expuestas a riesgos sanitarios.

Con frecuencia a la hora de buscar argumentos para defender la necesidad de conservar ecosistemas como los bosques tropicales se enfatiza el gran potencial que pueden tener para que se descubran nuevas especies de interés para la humanidad fundamentalmente como fuente de nuevos medicamentos. Siendo bien justificable este razonamiento ello no debe de llevar al error de pensar que la bioprospección será más rentable en estos biomas pues la realidad es que las especialidades farmacéuticas comerciales más importantes

se han encontrado en lugares incluso de baja diversidad biológica y en todas partes del mundo, como es el caso de la aspirina, o de productos obtenidos del género *Digitalis* o del tejo.

Los océanos de zonas templadas han proporcionado compuestos anti-tumorales a partir de especies de tñidos, y hongos de zonas intermareales producen eficaces antibióticos, e incluso zonas de escasa biodiversidad con ambientes extremos también han dado interesantes resultados en la bioprospección pues las especies presentes soportan condiciones que les confieren especiales propiedades.

A pesar de ello los esfuerzos más recientes de bioprospección farmacéutica se han realizado en ecosistemas abundantes en especies como los arrecifes de coral o bosques húmedos tropicales pues las circunstancias que lo justifican pueden ser tan complejas como que por la teoría evolutiva se conoce que las poblaciones de insectos herbívoros son más abundantes en los trópicos que en las zonas templadas y esto a su vez hace que las defensas químicas de las plantas contra los herbívoros sean más intensas y puedan ser potenciales fuentes de nuevos productos farmacéuticos.

El problema relacionado con las patentes tiene gran importancia en la industria farmacéutica y aunque en principio ajena a la bioprospección y conservación de la diversidad biológica ciertamente tiene una gran incidencia sobre ambas. Puede sorprender que mientras es muy reducido el número de nuevas especialidades que se descubren cada año el número de patentes para proteger productos existentes es de miles anualmente. La razón de esta diferencia respecto de otras patentes industriales está en que en el sector farmacéutico la mayor inversión tiene lugar en la investigación de laboratorio y en la fase de ensayos clínicos, mientras que los procesos de fabricación son sencillos y la patente es la única manera eficaz de proteger y recibir un retorno de esa inversión. Incluso las patentes se obtienen cuando aún el proceso de optimización tienen grandes incertidumbres.

Comprender el complejo de relaciones existente entre conservación de la diversidad biológica, bioprospección y desarrollo de especialidades farmacéuticas requiere un examen de algunas singularidades de la industria relacionada con la producción de estas. En primer lugar implica a muchos intermediarios que en forma de proveedores de servicios intervienen en cada etapa o función del proceso: descubrimiento, desarrollo, fabricación y venta. En I+D en el sector farmacéutico una etapa es el descubrimiento y otra el desarrollo y entre el inicio de la primera y finalización de la segunda pueden transcurrir

de 10 a 15 años, y sólo uno de cada 10.000 compuestos seleccionados se comercializa. Esto implica que miles o incluso cientos de miles de muestras deben ser examinados para identificar potenciales productos que pasen a una posterior fase de investigación. Las empresas de biotecnología son uno de los proveedores de servicios para la industria farmacéutica e interviene prácticamente en todas las etapas pero su principal área de especialización es en las fases de identificación y validación de genes. El material necesario bien se basa en colecciones propias de cultivos o externalizan la recolección recurriendo a jardines botánicos, universidades, importadores o algún tipo de recolector local. Esto permite a las empresas desarrollar sus propias colecciones de materiales que pueden ofrecer a socios y clientes en procesos de intercambio de material genético. Ese intercambio incluye la compra de miles de productos químicos o bioquímicos y algunos de estos productos pueden ser productos naturales o pueden haber sido derivados de los mismos.

Una alternativa a la bioprospección *in situ* es recurrir a colecciones de cultivos de recursos genéticos microbianos (*Microbial Genetic Resources*, MGR) que funcionan como intermediarios clave en la cadena de valor de MGR, a través de los derechos e intereses de los proveedores de los países de origen de esos recursos genéticos microbianos, los implicados en la recolección, aquellos que son depositarios y los receptores / usuarios. En general en las colecciones de cultivos la utilización de los recursos genéticos es en términos de investigación básica para la identificación y establecimiento de perfiles de las cepas, pero a menudo su participación se extiende a la investigación básica y aplicada de los MGR con interés científico, público o comercial.

La Federación Mundial de Colecciones de Cultivos (FMCC) define la “colección de cultivos” como una “organización establecida para adquirir, conservar y distribuir los microorganismos y la información sobre ellos para fomentar la investigación y la educación”. Son características comunes a las colecciones de cultivos:

- el empleo de métodos de conservación especiales con el fin de asegurar la viabilidad óptima, el almacenamiento, la pureza y la estabilidad de las cepas individuales; sus procedimientos para la autenticación y control de calidad de las cepas a partir del depósito de la colección;
- el mantenimiento de registros para cada cepa incluida la información sobre la ubicación geográfica, el sustrato o anfitrión, fecha de aislamiento, nombre de la persona que aisló la cepa, depositante (u otra fuente de la cepa, como otra colección), nombre de la persona que

se identificó la cepa, procedimientos de conservación utilizados, los medios óptimos de crecimiento y las temperaturas, los datos sobre las características bioquímicas o de otro tipo, y todas las condiciones reglamentarias que aplican;

- la capacidad de las colecciones para satisfacer todas las normas nacionales e internacionales pertinentes relativas al control, el transporte y los aspectos de salud y seguridad de manejo y distribución de los recursos.

La denominada “minería genética” ha encontrado en las colecciones de cultivos una fuente prolífica a la hora de investigar MGR poniendo a la disposición de los investigadores prácticamente el 99 % de la diversidad microbiana en buena parte inaccesible en la bioprospección convencional a la par que hace posible la identificación y aislamiento de metabolitos secundarios. Así los genomas de los microorganismos pueden ser más fácilmente secuenciados a partir de cultivos que en las plantas o insectos, y pueden crecer en cultivo, en lugar de recogerse, por lo que es fácil para las empresas hacer frente a los problemas de suministro sin frenar la investigación. Por otra parte los avances en la ciencia genómica hacen posible estudiar lo que se encuentra en las colecciones existentes, y un gran número de genomas microbianos se publican y son de libre acceso.

Los registros de colecciones de cultivo señalan que la mayoría se encuentran en Europa, de 203 totales en el mundo 158 son europeas y de un registro mundial de 663, 725 cepas alrededor de 580.000 están en colecciones de la unión europea principalmente en Dinamarca, los Países Bajos, Francia, Bélgica, Suecia y el Reino Unido. Fuera de ellas son Japón y los EE UU quienes tienen las colecciones más importantes pero otros países como China y Brasil comienzan a adquirir importancia en este campo. El desequilibrio norte sur no es solo cuantitativo pues las condiciones de financiación y la capacidad científica y técnica presenta una importante brecha.

Los tipos de recursos genéticos de interés para las colecciones de cultivos microbianos abarcan todos los procariotas (bacterias y arqueas), algunos organismos eucariotas, hongos, incluyendo levaduras, algas, virus, sus piezas replicables y otros materiales derivados por ejemplo, genomas y plásmidos.

Algunos MGR, tales como “cepas tipo” son los materiales de referencia básicos para la identificación de taxones microbianos, por lo que también son útiles para la investigación básica aplicada. Otros recursos llamados “organismos modelo” se utilizan como material de referencia que puede ser

autenticado como fiable en procesos de clonación para su uso en la investigación en microbiología.

Por definición, la función principal de las colecciones de cultivos es la recogida, el almacenamiento y la distribución de los microorganismos. El uso de los MGR que de ellos se obtienen tienen aplicación en el control biológico de plagas y enfermedades en la agricultura y la horticultura; la producción de productos naturales en forma de medicamentos, enzimas y metabolitos para productos farmacéuticos; y otras aplicaciones emergentes en la biotecnología agrícola, compost, el tratamiento de residuos tóxicos así como en la producción de biocombustibles y bioplásticos.

Cada poco surgen nuevos conceptos en el campo de la investigación sobre los recursos genéticos y si antes hablábamos de minería biológica también crece la denominada bioinformática que en realidad apunta a que junto el acceso físico a los recursos genéticos microbianos es clave el acceso digital a bases de datos genómicas y las publicaciones científicas.

Los Jardines Botánicos desempeñan un destacado papel en las actividades de bioprospección, identificación y documentación de nuevas variedades vegetales, almacenamiento y, en particular, el intercambio con otras colecciones ex situ. Se extiende su función a ser proveedores de recursos genéticos a las universidades y otros institutos de investigación que se dedican a la investigación básica y aplicada en variedades de plantas de interés científico y ellos mismos tienen equipos científicos propios.

La Agenda Internacional para la Conservación en Jardines Botánicos (*Botanic Gardens Conservation International*, BGCI) define Jardín Botánico como “instituciones que mantienen colecciones documentadas de plantas vivas para fines de investigación científica, conservación, exhibición y educación”. Pero como se apunta al principio sus actividades se extienden más allá de la mera recopilación y el intercambio de plantas. Y aunque no esté incluida en la definición, el mantenimiento de las colecciones herbarios representa una importante actividad. El BGCI precisa algo más la definición sobre contenido y funciones señalando que un jardín botánico debe tener un grado razonable de permanencia; una base científica subyacente de las colecciones; documentación apropiada de las mismas incluyendo su origen silvestre; un seguimiento de las plantas en las colecciones; el etiquetado adecuado de las plantas; apertura al público, comunicación de información a otros jardines, las instituciones y el público, intercambio de semillas u otros materiales con otros jardines botánicos, arboretos o instituciones de

investigación; proyectos de investigación científica o técnica en las plantas en las colecciones y mantenimiento de programas de investigación en taxonomía vegetal en herbarios. Una gran variedad de instituciones caben en esas definiciones y son grandes las diferencias en términos de tamaño, financiación, propiedad y funciones. En términos de tamaño, que van desde grandes jardines con cientos de empleados y una diversa gama de actividades tales como el Real Jardín Botánico de Kew en el Reino Unido, que incluye, entre otras cosas, un departamento jurídico, los laboratorios, las actividades de conservación y un departamento relaciones públicas, a las instituciones con recursos muy limitados, tales como el Jardín Botánico de Bonn, donde se emplea un único científico para gestionar una colección de 10.200 especies. En 2001 se estimó que el 30 % de los jardines botánicos del mundo pertenecía a universidades u otras instituciones de investigación de educación superior. Muchos otros reciben fondos públicos y son gestionados por las autoridades estatales, regionales o locales. Sólo una pequeña proporción es de propiedad privada.

La tendencia en ese momento se orienta hacia la independencia administrativa y la independencia financiera parcial a través de los propios esfuerzos de recaudación de fondos. Las funciones de los diferentes jardines botánicos también pueden variar y van de jardines históricos, jardines de conservación, jardines comunitarios y jardines universitarios impulsados principalmente por científicos, de conservación y con fines educativos, a una minoría de instituciones potencialmente calificar como jardines botánicos más vinculadas con el sector privado tales como jardines hortícolas (que existe principalmente para fomentar el desarrollo de la horticultura a través de la formación de los jardineros profesionales, mejoramiento de plantas, registro y conservación de variedades de plantas de jardín), agro-jardines botánicos y germoplasma (que funciona como una colección *ex situ* de plantas de valor económico o potencial para la conservación, la investigación, el fitomejoramiento y la agricultura).

El BGCI estima la existencia de 3.021 jardines botánicos distribuidos en 148 países, que se ocupan del mantenimiento de más de 6,13 millones de ejemplares en sus colecciones vivas, representando de más de 80.000 especies, casi un tercio de las especies de plantas vasculares conocidas en el mundo.

Mientras que la mayoría de los jardines botánicos están en Europa y América del Norte, un número significativo se pueden encontrar también

en el este y el sudeste asiático (especialmente en China) y el sur de Asia (principalmente en la India). Por otro lado, hay relativamente pocos jardines en África, Oriente Medio y el Caribe. La tendencia en la segunda mitad del siglo XXI ha habido un aumento general de los jardines botánicos en la mayoría de las regiones pero el mayor aumento proporcional en el número de jardines botánicos se ha observado en las regiones tropicales.

La principal actividad de los jardines botánicos es la investigación básica que se relaciona principalmente con la identificación de nuevo material vegetal y el estudio científico de sus propiedades con fines no comerciales y académicos, a menudo en colaboración con las universidades. En aquellos Jardines dotados de suficientes medios y capacidad científica la investigación puede dar lugar a colaboraciones directas con el sector privado. Prácticamente todo el material en poder de las colecciones del jardín botánico está vinculada a los recursos fitogenéticos en su mayoría en forma de plantas vivas y los intercambios suelen efectuarse en forma de semillas.

En un momento en que los conocimientos tradicionales asociados a los recursos genéticos están en franca crisis se considera a los herbarios de los Jardines Botánicos una de las pocas alternativas que recupere información obtenida en épocas pasadas y con bastante frecuencia incorporando referencias etnobotánicas, por ejemplo información sobre uso de las comunidades indígenas y locales de los materiales vegetales pertinentes. Esta experiencia puede tener proyección en las estrategias actuales de cooperación internacional en el marco de la conservación de la diversidad biológica como el caso del Jardín Botánico Nacional de Bélgica que ha colaborado con comunidades locales en África como resultado de una investigación *in situ* sobre los hongos comestibles africanos que más allá de los resultados científicos permitió la capacitación de las mujeres agricultoras locales sobre cómo encontrar, usar y diferenciar setas diferentes como una actividad económica alternativa a la agricultura.

La recolección *in situ* de los recursos fitogenéticos mediante la bioprospección sigue siendo una actividad importante llevada a cabo por los jardines botánicos. Sin embargo, a partir de un estudio llevado a cabo con los datos proporcionados desde 84 jardines botánicos en Alemania, Austria, Suiza y Luxemburgo se encontró que sólo el 12 % de las plantas adquiridas por los jardines botánicos cada año se recogen directamente en el medio silvestre. Existen redes de Jardines Botánicos con el objetivo de crear un clima de confianza con los países dueños de los recursos genéticos.

4.4. Tendencias actuales en la bioprospección

En general las fases de desarrollo de una especialidad farmacéutica obtenida o derivada de una determinada especie no coinciden con el área geográfica en que está presente. La investigación, desarrollo y producción del fármaco, las que más valor añadido, tienen lugar en países desarrollados y dentro de ellos en áreas industriales. Ciertamente es que en los últimos años se está produciendo un aumento de empresas pequeñas e independientes así como de laboratorios que trabajan basándose en la diversidad biológica y vinculadas más estrechamente y de forma más cercana con los entornos origen de las especies.

El estudio de la historia natural, los avances de la ecología como ciencia y los criterios evolutivos han permitido una orientación más racional y menos aleatoria de la bioprospección. Ya se ha comentado la línea de investigación orientada hacia los biocompuestos presentes en las hojas de plantas en los bosques tropicales en los cuales el proceso evolutivo ha conducido a una gran densidad de insectos herbívoros de cuya depredación han de defenderse las hojas. Las hojas de más edad lo consiguen protegiéndose con una estructura física de paredes celulares de celulosa y lignina pero en las más jóvenes esto impediría su crecimiento por lo cual su protección debe de ser segregando metabolitos químicos que ofrecen una gran oportunidad para la bioprospección, siendo un ejemplo un proyecto desarrollado en Panamá que se resume a continuación.

Impulsado por los Grupos Internacionales Cooperativos de la Biodiversidad (*International Cooperative Biodiversity Group*, ICBG), el proyecto tenía como objetivos tanto la búsqueda de potenciales fármacos como potenciar los equipos de investigación autóctonos y generar recursos económicos para la región. Apoyado también por el Instituto Nacional de la Salud de EE UU, la Fundación Nacional para la Ciencia (EE UU) y el Departamento de Agricultura de EE UU.

El programa ICBG apoya las “alianzas para el biodescubrimiento” fomentando acuerdos institucionales que superen las barreras que marcos normativos y condicionantes comerciales oponen para lo que es fundamental un amplio consenso y activa participación de científicos (biólogos, taxónomos, químicos, ...), expertos legales, instituciones académicas, administraciones públicas y entidades privadas. Buena idea del grado de colaboración es el hecho de que han estado participando en el proyecto cinco departamentos

de la Universidad de Panamá, el Instituto de Investigaciones Científicas Avanzadas y Servicios de Alta Tecnología), el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales con su alta capacidad tecnológica, varias universidades en los EE UU y la agencia estatal panameña responsable de la conservación de la biodiversidad, la Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá (ANAM).

Los acuerdos garantizaban al gobierno panameño derechos sobre los posibles beneficios económicos que se obtuvieran por la venta de medicamentos descubiertos en el proyecto pero a mucho más corto plazo se pretendía fortalecer la investigación en bioprospección, aumentando la capacitación y la dotación de medios para estar en disposición de emprender nuevas líneas de investigación. Por ejemplo así se pudieron dotar dos nuevos laboratorios, con el primer equipo de RMN en el país, formar a setenta investigadores locales durante siete años y potenciar su currículum para acceder al estudio de postgrado en centros extranjeros.

Los laboratorios panameños aislaron más de ochenta nuevos compuestos no reportados anteriormente en el caso de la mayoría de ellos y con aplicación contra el cáncer o activos en los bioensayos contra enfermedades tropicales como la malaria, dengue, la enfermedad de Chagas, o la leishmaniosis. Una de las aportaciones relevantes y que ha tenido eco en otros países de la región es la puesta a punto de un ensayo antimalaria que mediante una sonda fluorescente permite detectar el plasmodio sin necesidad de trazadores radiactivos.

Las enfermedades tropicales, en alguna manera “enfermedades olvidadas”, han sido punto central de las investigaciones, contando con la amplia experiencia del Instituto Smitshoniano de Investigaciones Tropicales ubicado en Panamá, y justificadísimo interés por el alto grado de afección; los costos económicos asociados a tratamientos, hospitalización y pérdida de horas laborales; así como la reducida eficacia, accesibilidad y efectos secundarios de los tratamientos actuales.

Todo ello invita a potenciar la bioprospección local para salvar dificultades como en el caso de la malaria en que el remedio actual de la artemisina, derivado de una especie vegetal está perdiendo eficacia sin alternativa hasta el momento. Para el mal de Chagas se utilizan tratamientos con nifurtimox y benzimidazol que tienen efectos secundarios, y del proyecto de investigación en base a estudios in vitro se alientan esperanzas de encontrar productos más efectivos y con menores contraindicaciones.

En opinión de los investigadores responsables del proyecto la bioprospección en países con gran diversidad biológica pueden desarrollar capacidad investigadora y promover empresas de biotecnología que afronten los retos de las enfermedades de alto costo social a la par que ofrecen oportunidades económicas. Con la innegable autoridad que les confieren sus éxitos científicos advierten de que mientras en los países desarrollados funcionan acuerdos entre las grandes compañías farmacéuticas, grupos pequeños dedicados a la I+D y las universidades con satisfactorios resultados económicos, en cambio en los países en vías de desarrollo el papel de los investigadores difícilmente llega a las etapas más avanzadas impidiendo adquirir derechos de propiedad intelectual que atraigan inversiones para apoyar la investigación en bioprospección, dificultad a la que se unen restricciones legales y falta de institucionalidad. Si se quiere que la bioprospección desempeñe un papel importante en el desarrollo sostenible y de conservación de la diversidad biológica son necesarias inversiones en equipos y en la formación de personal investigador. La bioprospección tendrá en los países en vías de desarrollo un mayor éxito cuando exista un ambiente que favorezca el compromiso de investigadores que asuman desarrollar su trabajo con una gestión competitiva y un uso responsable de los fondos aprovechando las tendencias favorables de la genética y de la biología celular.

Es una condición necesaria para superar dificultades como las restricciones al acceso a la información relacionada con la bioprospección que en este proyecto del ICBG es también uno de los beneficios alcanzados y referencia ejemplar al permitir el libre acceso y propiciar que los investigadores compartan equipos y resultados. Aun así y como muestra de dificultades que surgen incluso en un proyecto apoyado por instituciones como el Smithsonian y la ANAM se requirieron más de tres años de negociaciones. Este tipo de experiencias, su conocimiento en el caso de otros proyectos de bioprospección, pueden ayudar a evitar que fracasen y no superen las dificultades de regulaciones restrictivas. Paralelamente a la preparación de nuevos proyectos de I+D en los países en vías de desarrollo aplicando los principios del Convenio para la Diversidad Biológica se desarrollen normas que protejan la propiedad intelectual de los resultados de la bioprospección y no solo sobre los medicamentos desarrollados sino también de cualquier trabajo en el marco de la diversidad biológica. Esa es la razón de que los proyectos desarrollados en el marco del IBG, como el que se comenta de Panamá, usen el concepto de “alianzas en materia de biodiversidad”. Y resulta necesario insistir en la importancia de la ayuda que puede suponer para la

bioprospección los resultados obtenidos en áreas de investigación no aplicada sobre diversidad, ecología, conservación, taxonomía, o evolución, muy importantes en el caso de Panamá en la última década del siglo pasado y que han servido para orientar la investigación sobre nuevos medicamentos, con mayores probabilidades de éxito y menor costo, hacia determinadas especies y productos.

Los responsables del proyecto de Panamá inciden en que extender la investigación in situ a etapas posteriores a la inicial identificación y separación de los potenciales productos de uso farmacéutico llegando a los ensayos y pruebas para la determinación del mecanismo de acción y otros aspectos de la química medicinal pudiera ofrecer una posibilidad mayor de participación en la propiedad intelectual y una posición de los equipos de investigación local más de igual a igual que los que trabajan en centros ubicados en países desarrollados e incluso con las empresas multinacionales del sector. Así se pueden abrir las puertas a una mayor capacitación, acceso a tecnología punta que permita investigaciones de calidad y autofinanciable en los mismos lugares que comienza el proceso de bioprospección. Es el comienzo para hacer realidad uno de los objetivos del Convenio de Protección de la Diversidad Biológica: que se obtengan beneficios económicos para los países en vías de desarrollo, incluyendo el progreso científico, con una distribución equitativa y transparente de dichos beneficios.

Entre las barreras para hacer efectiva esa distribución equitativa de beneficios y en orden en que abordó su superación la Convención para la Diversidad Biológica se encuentran:

- La compleja cadena que va desde las primeras etapas de la bioprospección a nivel local hasta el procesamiento, fabricación y distribución, dificulta la asignación de la propiedad intelectual e identificación de los beneficios a redistribuir.
- La posibilidad de que las grandes empresas a partir de sus bases de datos puedan reproducir sintéticamente productos naturales obviando el mucho más complejo proceso de preparación a partir de las especies naturales.
- Que el desarrollo de un producto natural hoy por lo general implica una mezcla de grandes y pequeñas empresas, ninguna de las cuales están en condiciones de garantizar todo el proceso individualmente.

Ejemplo de cómo el CDB ha contribuido a una distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los recursos gené-

ticos, el acceso a ellos y respetar los derechos de propiedad intelectual de los pueblos indígenas lo constituye un proyecto desarrollado por los científicos del Jardín Botánico Trivandrum, en la India, que desarrollaron productos farmacéuticos a partir de especies cultivadas en el Jardín sobre ejemplares originales de zonas de montaña utilizadas por indígenas, cuyas tribus han recibido contraprestación económica sobre los beneficios obtenidos en la comercialización de esos fármacos. O el caso del uso de la planta *Hoodia gordonii* por parte de la tribu sudafricana *San* (bosquimanos) que por su efecto de atenuación de la sensación de hambre les era útil en sus desplazamientos de caza y que el CSIR ha convertido en un fármaco para prevenir la obesidad. El *South Africa's Council for Scientific and Industrial Research* extrajo de esta planta el producto P57, comercializado inicialmente por Phytofarm en virtud de un acuerdo entre ambos para patentar el mismo, y cuyos derechos posteriormente fueron vendidos a Pzifer. El Consejo Sudafricano de los San emprendió un recurso contra el *South Africa's Council for Scientific and Industrial Research* reclamando derechos de propiedad y que les proporcionará más de 9 millones de dólares hasta que expire la patente.

La diversidad biológica desempeña un papel de gran importancia en los sistemas de salud de muchos países a través de la etnobotánica. En estimaciones de la OMS son 3,5 mil millones las personas cuya farmacia es directamente los propios componentes de la biodiversidad, lo que en Brasil se llama la “farmacia verde”, que dentro de un Programa Plantas del Nordeste analiza los productos etnobotánicos locales para estudiar sus efectos, sus posibles contraindicaciones, mejorar su forma de preparación y suministra a las comunidades locales a un precio acorde al contexto socioeconómico.

El esfuerzo del CDB por hacer realidad el uso sostenible de sus componentes, la justa y equitativa repartición de los beneficios que se deriven del uso de los recursos genéticos, ha sido secundado por otros acuerdos internacionales como el impulsado por el *Asian Coordinating Group for Chemistry* para evitar la llamada biopiratería o venta en países extranjeros de plantas sin permiso de exportación. Así también se aprobó un código ético de uso de plantas medicinales para reconocer oficialmente la importancia económica de la diversidad biológica, que los recursos biológicos de cada región sean conservados y los científicos locales quienes participen en la investigación sobre la flora local y la fauna y que ningún beneficio comercial derivado del uso de recursos regionales deje de compartirse equitativamente con la comunidad local. La UNESCO ha desempeñado una importante función apoyando procesos como el iniciado por Australia, Indonesia, Malasia, Fili-

pinas y Tailandia que elaboraron un acuerdo o Directrices de Kuala Lumpur sobre el acceso a los recursos biológicos y el desarrollo sostenible, más tarde la Declaración de Phuket (Tailandia) emitida por la Conferencia Internacional sobre Biodiversidad y Recursos Biológicos, también sobre la protección de la biodiversidad, la utilización sostenible de los recursos biológicos, y la equitativa distribución de los beneficios comerciales.

Emergen nuevas empresas financiadas a través de subvenciones del Programa de Grupos de Cooperación Internacional para la Biodiversidad que en el caso de la Axxon Biopharm Inc. tiene un proyecto para desarrollar cien especialidades en asociación con el Programa de Conservación y Desarrollo de los Recursos Biológicos con sede en Nigeria.

Siguiendo con ejemplos representativos de la orientación que en años recientes está tomando el uso farmacéutico de la diversidad biológica el profesor José Ribeiro da Silva, en Río de Janeiro, desarrolló aplicaciones medicinales de la flora que fueron adquiridas por Natura, empresa especializada en productos cosméticos y de higiene personal. En el caso de Phyto Nova los ambiciosos objetivos que animaron su fundación fueron investigar, desarrollar y comercializar medicamentos seguros y asequibles para curar enfermedades de alta incidencia y específicas de África basándose fundamentalmente en la medicina tradicional africana, pero confiriéndola una base científica que garantice la seguridad, eficacia y calidad de los medicamentos tradicionales a la par se hace un uso sostenible de las materias primas naturales y se favorece el desarrollo rural.

Venimos citando ejemplos que tienen el denominador común de utilizar el conocimiento local de las propiedades médicas de productos naturales usados por las comunidades indígenas durante siglos, lo que se suele denominar etnomedicina y que en ese contexto tradicional tiene una frontera difusa entre lo que se considera alimentación o medicación como fitonutrientes, nutracéuticos, fitoalimentos y fitocosméticos.

Costa Rica es un ejemplo y líder mundial en su estrategia de conservación de la diversidad biológica y también referencia en la firma de acuerdos estratégicos para la bioprospección. El Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) de Costa Rica compuso una asociación con empresas farmacéuticas internacionales como Merck & Co., Indena, Co., y Agrobiot S.A., junto con instituciones académicas y entidades fundacionales cual la Fundación Rockefeller y la Fundación MacArthur en cuyos acuerdos tenían prioridad los conceptos ya comentados del acceso, la equidad, la transferencia de tec-

nología y la capacitación de científicos locales así como el uso no destructivo de la biodiversidad.

Los rendimientos del Programa se distribuyen entre aportaciones al Ministerio de Medio Ambiente para los espacios naturales protegidos, casi dos millones de dólares en un año, setecientos mil dólares para universidades públicas y otro tanto para inventarios de biodiversidad.

Uno de los proyectos desarrollados ha sido la evaluación del potencial de microorganismos y sus extractos en el control biológico del barrenador de la piña en Costa Rica, a través de un convenio con la empresa BIOTECH, dedicada al área de protección de cultivos y con el interés de buscar nuevas alternativas de control biológico. La colaboración con INBio tuvo el propósito de impulsar una colaboración conjunta para evaluar el potencial de microorganismos (bacterias y hongos) y sus extractos químicos en el control del gusano barrenador de la piña, conocido como Tecla (*Strymon sp*), a partir de muestras aisladas de la biodiversidad de Costa Rica que se encuentran en la colección de microorganismos que está en custodia de INBio. De lo obtenido en los bioensayos, los aislamientos que muestren una toxicidad igual o superior a cepas de productos comerciales, pasarán a una segunda etapa en donde serán evaluados sus extractos y/o caldos proteicos. El proceso implica recolectar e identificar los individuos conocidos como Tecla en el cultivo de piña costarricense y desarrollar un pie de cría de Tecla; evaluar la actividad de control biológico de una muestra de microorganismos del banco de cepas en el INBio contra las larvas de Tecla, criadas en los laboratorios de entomología del mismo instituto, y evaluar, bajo condiciones de laboratorio, el potencial de los extractos o caldos proteicos producidos por las cepas seleccionadas como promisorias, para controlar las larvas de Tecla y evaluar los resultados para la toma de decisiones para etapas posteriores.

La empresa española PharmaMar fue pionera en la búsqueda de productos naturales, a partir de la química de organismos marinos en la línea de experiencias previas de las que son ejemplos los siguientes medicamentos que han sido aprobados y que tuvieron como origen algún organismo marino: Cytarabine (agente anticáncer cuyo origen fue una esponja) aprobado por la FDA en 1969; Vidarabine (actividad antiviral originario también de una esponja) aprobado por la FDA en 1976; Ziconotide (analgésico semisintético a partir de un caracol, aprobado por la FDA en el 2004) y más recientemente, Yondelis® (agente anticáncer a partir de un túnido y desarrollado por PharmaMar) aprobado por el EMA en el 2007. PharmaMar se interesó por

la gran biodiversidad costarricense, con una nueva orientación de explorar nuevos ambientes marinos, en sitios de profundidades que oscilan entre los 50 y 100 metros bajo el nivel del mar en aguas territoriales de Costa Rica. Para ello estableció un acuerdo con INBio con objeto de desarrollar campañas oceanográficas en aguas territoriales costarricenses, con el propósito de recolectar invertebrados marinos como fuente potencial para el descubrimiento de nuevos fármacos innovadores de origen marino, centrando el proyecto en los siguientes acuerdos específicos:

- Explorar y estudiar la biodiversidad marina de Costa Rica como fuente potencial de nuevos compuestos anticáncer.
- Identificar y clasificar los invertebrados marinos y algas de las aguas costarricenses, dotando al INBio y al país de una mejor comprensión de la biodiversidad marina de Costa Rica.
- Transferir tecnología y conocimiento del proceso de descubrimiento de drogas de PharmaMar al INBio.
- Transferir al INBio la información y los conocimientos adquiridos acerca de todos los invertebrados marinos recolectados en Costa Rica, incluyendo taxonomía y fotografías bajo el agua.

En Australia se desarrolló una interesante colaboración cuyo objetivo a largo plazo era el descubrimiento de productos naturales con aplicaciones farmacéuticas. Para ello en 1993 se constituyó un consorcio entre AstraZeneca, una de las mayores empresas farmacéuticas en el mundo, la Universidad de Griffith en Brisbane y el Gobierno del Estado de Queensland. El acuerdo de colaboración (*Queensland Biodiscovery Collaboration*) incluyó aspectos como la creación de un laboratorio en Brisbane, que la Universidad de Griffith compartiese los derechos de propiedad intelectual con AstraZeneca, quien tenía el derecho de desarrollar el primer producto que surgiera de la colaboración y que, en el caso de los siguientes, correspondería a la Universidad de Griffith. El laboratorio recogió muestras de la selva tropical de Queensland y de la gran barrera de coral a través de contratos con el Herbario de Queensland y el Museo de Queensland. La colaboración ha proporcionado beneficios monetarios y no monetarios que en el caso de estos incluyó el fortalecimiento de la base científica de Australia a través de las colecciones y bibliotecas de compuestos, el laboratorio avanzado de búsqueda de productos naturales y las enormes ganancias en conocimiento taxonómico y ecológico, incluyendo el descubrimiento de muchas especies marinas nuevas. A pesar

de ello, el consorcio se disolvió en 2012 al no proporcionar resultados que justificasen su costo económico.

Las iniciativas de grupos científicos, movimientos ecologistas, poblaciones afectadas e incluso las propuestas por agencias internacionales relacionadas con la diversidad biológica y ratificadas en cumbres internacionales avanzan con dificultad hacia los objetivos de conservación pretendidos. Herramientas como los denominados principios y directrices de Addis Abeba para la utilización sostenible de la diversidad biológica estructurados según catorce principios prácticos, directrices operacionales e instrumentos son necesarios para asesorar a los gobiernos, y a los agentes sociales, gestores de recursos naturales, comunidades indígenas y locales, sector privado, instituciones académicas y comunidad científica. A todos ellos apela el documento para que colaboren en que el uso de los componentes de la diversidad biológica no lleve a una disminución a largo plazo de la misma.

Los programas de gestión sostenible de los recursos naturales han de considerar que es aceptable su uso pero garantizando que los procesos ecológicos, las especies y la variabilidad genética permanecen por encima los umbrales necesarios para su viabilidad a largo plazo y es responsabilidad de los gobiernos y de los gestores de recursos y usuarios garantizar que ese uso no exceda estas capacidades. Es decir que la diversidad biológica de los ecosistemas se mantenga, se regenere cuando sea posible y necesario para garantizar que sean capaces de sostener los servicios de los que depende tanto la diversidad biológica como los humanos.

Se ha de tener en cuenta que de forma natural o por acciones antropogénicas la diversidad biológica cambia con el tiempo y las estrategias de conservación deben de considerar acciones de protección o acomodación que mitiguen los posibles impactos. Una de las causas de esos cambios son las presiones sobre los hábitats naturales que les modifican para diferentes usos con criterios de beneficio económico a corto plazo por lo que es necesario poner en la balanza los pasivos que generan y los costos asociados a la pérdida de prestaciones de servicios de los ecosistemas.

La consideración anterior es mucho más pertinente en el caso de países, con una dependencia completa o importante para su sustento respecto de las plantas recolectadas y de los animales por parte de millones de personas, con frecuencia los más pobres. Como hemos visto anteriormente también dependen de ellos para buscar remedios frente a la enfermedad y en comunidades indígenas como soporte cultural y espiritual.

La integración de las consideraciones de conservación de la diversidad biológica en las diferentes políticas sectoriales se hace imprescindible si no se quiere que fracasen las medidas de conservación. Y a la hora de planificar esas políticas es necesario considerar que existe un límite en la capacidad de carga de los ecosistemas cuyo suministro de productos biológicos y servicios ecológicos disponibles está limitado por las características biológicas intrínsecas tanto de las especies como de los ecosistemas, entre las que figuran la productividad, el poder de recuperación y la estabilidad. Los sistemas ecológicos, los cuales dependen del ciclo de recursos finitos, tienen límites respecto de los bienes que pueden proporcionar y de los servicios que pueden rendir.

La gobernanza o capacidad institucional para gestionar la diversidad biológica es uno de las restricciones que más condicionan a los gestores para dotarse y cumplir con marco de gobierno consistente con las leyes internacionales y nacionales, limitando la posibilidad de que los usuarios asuman la responsabilidad del uso de los recursos. A esas debilidades se suman las políticas, leyes y reglamentaciones internacionales y nacionales que perturban los mercados, que contribuyen a la degradación de los hábitats o, además de eso, generan incentivos perjudiciales que socavan la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica, factores que deben identificarse y eliminarse o mitigarse.

Las estrategias de conservación de la diversidad biológica como ha sucedido en el pasado con los instrumentos de uso y gestión de espacios naturales protegidos corren el riesgo de quedar como documentos decorativos. Evitarlo requiere que se basen en el conocimiento científico de la diversidad biológica, el conocimiento tradicional y local, la retroinformación iterativa, oportuna y transparente derivada de la vigilancia del uso, los impactos ambientales, socioeconómicos y de la situación del recurso que se está usando. Es el camino para diseñar estrategias realmente operativas que permitan alcanzar las metas y prácticas de una gestión sostenible evitando o reduciendo al mínimo los impactos adversos en los servicios, la estructura y las funciones de los ecosistemas.

Los ecosistemas no se acomodan territorialmente a límites administrativos por lo que la escala espacial y temporal de la gestión debe ser compatible con las escalas ecológica y socioeconómica del uso y potenciales impactos siendo imprescindible tanto la cooperación internacional en la toma de decisiones como un enfoque interdisciplinario y participativo a los niveles adecuados de gestión que tenga en cuenta las necesidades de las comunidades indígenas y locales que viven de la utilización y la conservación de la diversidad biológica, y que se ven afectadas por barreras administrativas artificiales que

no se corresponden con su hábitat geográfico. Subsanan potenciales conflictos ente actores locales y externos, con visiones de la conservación diferentes, requiere esfuerzos en la educación y que realmente se disponga de recursos económicos para afrontar los costos de gestión y conservación de la diversidad biológica que deben interiorizarse dentro del área de gestión y reflejarse en la distribución de los beneficios que se derivan del uso.

El Protocolo de Nagoya sobre Acceso y Participación en los Beneficios vino a ser el respaldo a los criterios que con carácter más voluntarista se planteaban en los acuerdos de Addis Abeba y constituyó un hito en el impulso del CDB y de hecho se basa y apoya en el objetivo que este formula la participación justa y equitativa en los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos, un instrumento decisivo para la gobernabilidad de la diversidad biológica, útil en relación con sectores comerciales y no comerciales relacionados con la utilización y el intercambio de recursos genéticos.

Recoge los principios fundamentales de acceso y participación en los beneficios consagrados en el CDB que incluyen el consentimiento previo del país para el uso de los recursos genéticos la negociación de los términos y condiciones del acceso y la utilización de este recurso, la distribución de los beneficios que se deriven de la utilización del recurso como un requisito previo para el acceso al recurso genético y la utilización de este. También se estipula que los países proveedores de recursos genéticos, deben establecer reglas y procedimientos justos y no arbitrarios para el acceso a sus recursos genéticos.

La seguridad jurídica y transparencia que permite el Protocolo de Nagoya aumenta las posibilidades de superar barreras ya comentadas que atraigan inversiones e incentive la conservación y utilización sostenible de los recursos genéticos. En concreto las naciones firmantes del protocolo se comprometen a tomar las medidas necesarias para:

- crear seguridad jurídica, claridad y transparencia, proporcionar normas y procedimientos justos y no arbitrarios, establecer normas y procedimientos claros para el consentimiento fundamentado previo y las condiciones mutuamente acordadas.
- disponer que se emita un permiso o su equivalente cuando se otorgue el acceso.
- crear condiciones para promover y alentar la investigación que contribuya a la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica.

- prestar debida atención a las situaciones de emergencia actual o inminente que representen una amenaza para la salud humana, animal o vegetal.
- considerar la importancia de los recursos genéticos para la alimentación y la agricultura y el rol especial que cumplen para la seguridad alimentaria.

Este Protocolo presta gran atención a definir con precisión cómo los gobiernos nacionales deben regular la participación en los beneficios que se produzcan por utilización de los recursos genéticos, así como de sus aplicaciones y comercialización subsiguientes. Se consideran todas las fases del uso incluyendo la investigación y procesos bioquímicos de desarrollo y se exige un acuerdo contractual en el que aportación por parte del usuario de los recursos genéticos puede ser en términos monetarios (tales como regalías) o no monetarios (tales como resultados de investigación compartidos o transferencia de tecnología). En el caso de aprovechamiento de recursos genéticos supranacionales los beneficios se destinan a programas mundiales de conservación de la diversidad biológica.

El riesgo de que el Protocolo perdiera su vigencia cuando los conflictos o incumplimientos tienen carácter transnacional se intentan superar estipulando la obligación de que se transponga, por vía de ley o reglamentaria a la normativa de los países firmantes, un cuerpo legal que incluya:

- Adoptar medidas que aseguren que los recursos genéticos utilizados dentro de su jurisdicción se hayan obtenido de conformidad con el consentimiento fundamentado previo y que se hayan establecido condiciones mutuamente acordadas.
- Cooperar en casos de supuestas infracciones de los requisitos de la otra parte contratante.
- Alentar las disposiciones contractuales relativas a la resolución de controversias en las condiciones mutuamente acordadas. Asegurar que sus sistemas jurídicos ofrezcan la posibilidad de presentar recursos en casos de controversias que surjan de las condiciones mutuamente acordadas.
- Adoptar medidas relativas al acceso a la justicia.
- Adoptar medidas para vigilar la utilización de los recursos genéticos, incluida la designación de puntos de verificación eficaces en cualquier etapa de la cadena de valor: investigación, desarrollo, innovación, pre-comercialización o comercialización

Como ya se ha comentado anteriormente uno de los problemas para hacer realidad los objetivos del CDB son las debilidades institucionales y técnicas de los países más directamente involucrados en la conservación de la diversidad y el Protocolo de Nagoya contempla programas de asistencia técnica en los que, por ejemplo, se ocupa de la elaboración, actualización y utilización de modelos de cláusulas contractuales; códigos de conducta, directrices y prácticas y/o normas para diferentes sectores. Entre estos el Protocolo de Nagoya aborda los conocimientos tradicionales asociados a recursos genéticos por medio de disposiciones relativas al acceso, la participación en los beneficios y el cumplimiento de las medidas necesarias para garantizar el consentimiento informado previo de esas comunidades. Así se ayudará a fortalecer la capacidad de las comunidades indígenas y locales para obtener beneficios de la utilización de sus conocimientos, prácticas e innovaciones.

La asistencia técnica a los actores implicados incluye:

- la designación de puntos focales nacionales y autoridades nacionales competentes que actuarán como puntos de contacto para obtener información y conceder el acceso y para la cooperación entre las Partes.
- un Centro de Intercambio de Información sobre Acceso y Participación en los Beneficios, que es una plataforma basada en la web para compartir información en apoyo de la aplicación del Protocolo de Nagoya. Cada Parte en el Protocolo de Nagoya proporcionará, por ejemplo, información sobre los requisitos de acceso y participación en los beneficios nacionales y los puntos focales nacionales y autoridades nacionales competentes, así como dará a conocer los permisos o su equivalente emitidos en el momento del acceso.
- la creación de capacidad para prestar apoyo en aspectos clave de la aplicación tal que elaborar leyes nacionales sobre acceso y participación en los beneficios para la aplicación del Protocolo de Nagoya, negociar condiciones mutuamente acordadas o desarrollar la capacidad de investigación en el país.
- el aumento de la concienciación por medio de la promoción del Protocolo de Nagoya e intercambio de experiencias e información con los interesados y, entre estos, incluidas las comunidades indígenas y locales y la comunidad científica.
- la transferencia de tecnología, principalmente por medio de colaboración y cooperación en programas de investigación y desarrollo científicos, incluida la investigación biotecnológica.

- el apoyo financiero específico a iniciativas de creación de capacidad y desarrollo a través del mecanismo financiero del Protocolo de Nagoya, el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (FMAM).

El debate sobre el intercambio de información sobre los recursos genéticos tiene un sesgo unidireccional en la mayoría de los casos, si los países desarrollados tienen el compromiso ético de proporcionar libre acceso a la información que disponen y bajo qué condiciones. Pero en ocasiones el sentido se invierte y así sucedió cuando el caso de la influenza pandémica suscitó el interés de los países desarrollados de acceder a través de la OMS a virus gripales para estudiar posibles vacunas, preguntándose los países primeramente afectados cómo compartirían los posibles resultados de la investigación. Esto motivó que la OMS negociara un acuerdo marco para que en caso de que ocurra una pandemia, las muestras de virus de la influenza serán compartidas con socios que necesitan la información para tomar medidas para proteger la salud pública. Ayuda a responder eficazmente a futuras pandemias de gripe, asegurándose de que las funciones y obligaciones entre los principales actores están mejor establecidos establecer y se ayuda a acelerar el acceso a las vacunas esenciales, antivirales y kits de diagnóstico, especialmente para las zonas infectadas.

El futuro de la bioprospección lógicamente viene condicionado por el propio proceso de evolución de la diversidad biológica, en función de factores naturales y antropocéntricos ya discutidos, pues cada uno de ellos, al reducir el número de especies y sus poblaciones, disminuye las probabilidades de éxito de la bioprospección y aumenta su costo.

También en el futuro se prestará mayor atención, como ya se contempla en varias normas legales, a la incidencia que sobre la diversidad biológica puedan tener las propias labores de la bioprospección, fundamentalmente en la fase de recolección. Esta cuestión puede pasar desapercibida, y de hecho ser irrelevante, cuando se toman muestras de unos pocos individuos entre poblaciones de millones de ellos (ejemplo de termitas entre poblaciones de millones en los termiteros), pero no siempre es así, fundamentalmente cuando se producen extractos vegetales que pueden implicar la recolección de grandes cantidades de plantas o partes de ellas que pueden amenazar su conservación.

Esto es un problema grave en algunas regiones, especialmente cuando se trata de plantas para medicinas botánicas y productos farmacéuticos y un factor a considerar es que en lugares de un índice elevado de pobreza la cosecha de plantas silvestres es a la vez la única fuente de ingresos y la única fuente

de medicinas para su uso local. Un caso dramático de sobreexplotación es la disminución del reclutamiento de plántulas nuez de Brasil y otros efectos menos perceptibles como el acortamiento progresivo de la longitud de los ejemplares de poblaciones de caña de ratán.

La sobreexplotación con fines de investigación de productos también alcanzó a determinadas especies marinas sobremanera en el caso de los moluscos de la familia *Conidae*, que genera unas neurotoxinas de potenciales aplicaciones para el control del dolor, el tratamiento del cáncer y microcirugía. Tanto la recolección generalizada de estos animales para la investigación médica como para los coleccionistas de conchas y los turistas, ha llevado a la amenaza de extinción de muchas especies en los mares tropicales. Los científicos que investigan esta especie estiman en 50.000 las toxinas que pueden contener y la consideran la más grande y de mayor importancia clínica farmacopea de cualquier género en la naturaleza calificando a su extinción como un acto autodestructivo de locura sin precedentes. Es evidente que la capacidad actual y futura para generar nuevos productos y su aprovechamiento industrial está amenazado por la pérdida del recurso básico, la biodiversidad, a todos los niveles: genes, poblaciones, especies y ecosistemas. Esas evidencias confirman que dichas pérdidas están muy extendidas y que, salvo en el caso de programas específicos de conservación, generalmente en espacios naturales protegidos, es un proceso que no remite.

Es irónico que la reciente explosión de nuevas técnicas que dan mayor capacidad de comprender y utilizar la biodiversidad vaya acompañada de una disminución global en este mismo recurso que no solo es una amenaza para su uso comercial, sino que puede afectar a la propia funcionalidad ecológica del ecosistema. Ya se comentó que estos procesos de pérdida de diversidad biológica se manifiestan de forma más patente en zonas forestales, como la Amazonia, donde entran en conflicto los intereses de la explotación del recurso como madera frente a usos tradicionales de las poblaciones indígenas que aprovechan frutos y productos extraídos sin comprometer la sostenibilidad para satisfacer sus necesidades alimentarias y de medicinas naturales. Haciendo abstracción de consideraciones más elevadas respecto del interés intrínseco en la conservación de la diversidad biológica, existen casos de que los aprovechamientos madereros explotan materias primas de baja calidad cuyo beneficio es inferior a los que pudieran obtenerse de la bioprospección y es habitual poner como ejemplo la especie *Taxus brevifolia* árbol interesante desde el punto de vista farmacéutico pero de bajo valor maderero. También se comenta que una campaña de bioprospección en bos-

ques de Sarawak permitió identificar poblaciones de *Calophyllum lanigerum*, de potencial gran interés farmacéutico, pero cuando se repitió la campaña para iniciar un proceso de recolección de más especímenes para el desarrollo de sus productos, labores forestales de tala habían producido una reducción drástica de su población y los ejemplares eran menos activos.

No existen muchos más ejemplos documentados en los que la bioprospección haya sido comprometida por la pérdida de una comunidad natural o de una especie individual pero todo lo expuesto anteriormente permite afirmar que la pérdida indiscriminada de especies o de las comunidades en las que residen es probable que sea una de las principales amenazas para la bioprospección, incluso cuando sus valores son actualmente desconocidos o incluso no sospechados.

Otra tendencia negativa para el futuro de la bioprospección es la pérdida de los conocimientos tradicionales de los recursos biológicos en los últimos años cuya situación actual ha sido revisado por la Sociedad Internacional de Etnobiología y constata ese descenso del conocimiento tradicional de las fuentes biológicas de todo el mundo, especialmente en lo que se refiere a la interrupción del proceso de transmisión intergeneracional de ese conocimiento. La homogeneización de los cultivos en las técnicas agrícolas modernas implica una pérdida de diversidad genética de los cultivos debido a la agricultura moderna contrastable por datos como que en China, por ejemplo, sólo 10 % de la 10.000 variedades de trigo presentes en 1949 permanecían en cultivo que 1970, en los EE UU sólo el 15-20 % de las variedades de manzana, repollo, maíz, guisantes, tomate y variedades cultivadas en el siglo XIX están disponibles hoy en día. Además de los posibles efectos ambientales de los cultivos modificados genéticamente aún objeto de debate los métodos agrícolas modernos con la eliminación de la vegetación nativa, superficies de cultivo mayores y un mayor uso de riego, han dado lugar a la disminución de la biodiversidad y pérdidas a gran escala.

En estas zonas agrícolas que ocupan una considerable parte de las tierras las expectativas de la bioprospección son bajas y afecta también a los microorganismos del suelo, que son más especializados y menos diversa en los sistemas agrícolas aunque entorno a ellos los fragmentos relictos de ecosistemas originales pueden ser fuentes de sistemas genéticos de valor comercial debido a su adaptación a las regiones o sistemas de interés.

Es oportuno finalizar este apartado haciendo mención al concepto de biología de las metapoblaciones relacionado con el umbral de extinción de

una especie en hábitats fragmentados, una nueva especialidad de la biología que a partir de trabajos de campo y a los modelos matemáticos se puede determinar el grado de fragmentación del hábitat de una especie determinada a partir del cual dicha especie se extinguiría, la línea roja a partir de la cual una especie no tiene otro futuro que la extinción.

Y es obligado rendir homenaje al ecólogo finlandés Ilkka Hanski , descubridor del concepto y precursor de la especialidad, al que la Fundación BBVA ha otorgado el premio Fronteras del Conocimiento en la categoría de Ecología y Biología de la Conservación y que en su nominación la presidenta del jurado, Georgina Mace, catedrática de Biodiversidad Colegio Universitario de Londres, ha destacado que la labor científica de Hanski ha sido “fundamental para la conservación de la biodiversidad en todo el mundo”.

4.5. Cambio climático y riesgos para la salud

El último Foro de Davos al situar el calentamiento global como una, si no la que más principal amenaza, actual y futura, de la humanidad hacía suyas las denuncias que desde diversas instancias se venían formulando en años anteriores. Como la del IPPC que en su cuarto informe dijo que “Según las proyecciones, en general el cambio climático aumentará los peligros para la salud humana, sobre todo en las poblaciones de menores ingresos de los países tropicales y subtropicales”.

Ya en la actualidad hay una influencia del cambio climático sobre morbilidad y defunciones prematuras a nivel mundial y está previsto que crezca afectando a millones de personas, de todos los países y de todas las regiones, con mayor gravedad en aquellos sectores con capacidad adaptativa baja. En ellos se agravarán los actuales problemas de desnutrición que tienen consecuencias adicionales sobre el crecimiento y desarrollo intelectual de los niños; el aumento de desastres naturales causará muertes, lesiones y situaciones de deterioro ambiental adicional que junto a la carencia temporal de servicios sanitarios hará aumentar enfermedades como la diarrea y riesgo de epidemias transmisibles por vía hídrica; enfermedades asociadas a ciertas regiones con condiciones bioclimáticas específicas cambiarán sus ámbitos espaciales y la intensidad de su incidencia, en general con una modificación de la información obtenida hasta el momento sobre sus vectores; en el creciente mundo urbanizado aumentarán a nivel de suelo contaminantes atmosféricos como el

ozono y las condiciones térmicas especialmente en las horas de calor harán mayor la incidencia de enfermedades cardiorrespiratorias.

Las formas y las vías en que puede alterar las condiciones de salud el calentamiento global se relacionan con la tipología de los efectos en que este se manifiesta. La forma más perceptible es la que da lugar a fenómenos atmosféricos extremos, no solo huracanes y tormentas tropicales si no vientos, mareas y lluvias torrenciales en lugares en los que no se producían o lo hacían con menor frecuencia e intensidad. Sus consecuencias aparte de las de mayor dramatismo con muertes y otros daños físicos se prolongan al alterar las condiciones de habitabilidad, de por sí en general ya muy precarias en las regiones de mayor vulnerabilidad, producirse desplazamientos que obligan a vivir en asentamientos provisionales y se dificulta la provisión de servicios básicos como agua potable o asistencia sanitaria. El cambio climático está modificando las condiciones ambientales que a su vez se traducen en variaciones de la diversidad biológica, disminución de depredadores que influyen en las pirámides poblacionales aumentando presencia de vectores patógenos, pérdida de calidad de las masas de agua que reducen la disponibilidad del recurso con las necesarias garantías sanitarias.

Ya se comentaba como la incidencia de las previsibles repercusiones del cambio climático guardan relación con la vulnerabilidad de las poblaciones que a su vez depende, según criterio del IPPC, de factores como la densidad demográfica, el grado de desarrollo económico, la disponibilidad de alimento y agua potable segura, el nivel y la distribución de los ingresos, las condiciones ambientales locales, el estado previo de salud, y la calidad y disponibilidad de la atención sanitaria pública. En zonas periurbanas de asentamientos informales, en lugares de bajo nivel de ingresos y viviendas de baja calidad, las personas ancianas, con enfermedades crónicas y niños de corta edad serán agentes pasivos con peores perspectivas frente al cambio climático. La OMS, activa en la lucha contra el paludismo, dengue, leishmaniosis y otras enfermedades endémicas de ciertas zonas, constata con preocupación la extensión de sus zonas de influencia lo que requiere replantear los programas de control y aumentar la necesidad de recursos sanitarios.

La gravedad del problema que estamos comentando y las alarmantes previsiones futuras demandan un esfuerzo de todos los profesionales sanitarios para que el actual conocimiento de la relación entre los efectos del cambio climático y la salud superen las lagunas existentes que afectan a cuáles serán los escenarios futuros de patrones de exposición, cómo responderán la vulnerabi-

lidad, adaptabilidad, resiliencia de los ecosistemas y distintos ámbitos sociales. Una dificultad es como diferenciar los impactos causados efectivamente por el cambio de otros cuyos efectos vienen modulados por otros factores siendo difícil encontrar el punto de equilibrio entre complejidad y simplicidad. Es así porque junto al cambio climático concurren otros procesos ambientales y todo ello en un contexto de incertidumbres científicas que pueden resumirse afirmando que la identificación, cuantificación y proyección de los impactos del cambio climático en la salud plantea retos relacionados con la escala, la especificación de la “exposición” y la elaboración de cadenas causales, a menudo complejas e indirectas. Los epidemiólogos hasta ahora no tuvieron experiencia con la escala geográfica de las repercusiones del clima en la salud ni con los normalmente dilatados períodos en que se manifiestan pues han estudiado problemas localizados desde el punto de vista geográfico, de comienzo bastante rápido y que afectan directamente a la salud. Su unidad natural de observación se centraba en el individuo.

La variable “exposición” (tiempo, variabilidad y tendencias del clima) no es sencilla de medir pues requeriría identificar un grupo manifiestamente “no expuesto” para ser utilizado como referencia. Las diferencias entre individuos de un mismo lugar respecto a la exposición al tiempo o al clima generalmente son pequeñas dificultando establecer comparaciones entre grupos con distintas exposiciones. En estas comparaciones debieran incluirse comunidades o poblaciones enteras, para evaluar diferencias de vulnerabilidad intercomunitarias. Se suele citar como ejemplo, el aumento de la tasa de mortalidad en Chicago durante la intensa ola de calor de 1995 que varió considerablemente de unos barrios a otros debido a diferencias en factores como la calidad de la vivienda y la cohesión de la comunidad.

Otro factor que contribuye a dificultar la cuantificación de los efectos del cambio climático sobre la salud es la asociada a las vías en que puede actuar, en ocasiones indirectas y a menudo complejas. Mientras que aquellos factores asociados a cambios de composición y funcionamiento en los ecosistemas actúan demorados, como puede ser las infecciones transmitidas por nuevos vectores en nuevos espacios, los producidos por el aumento de temperatura lo hacen directamente y a corto plazo.

Y otro aspecto realmente complejo es cómo hacer pronósticos a medio y largo plazo sobre los riesgos para la salud en relación con escenarios climático-ambientales futuros pues en el caso del cambio climático la mayoría de esos riesgos se sitúan a vista de años o décadas. Y si bien es hacia esos

horizontes hacia los que se orientan las investigaciones científicas puede ser de gran ayuda realizar estudios empíricos utilizando datos epidemiológicos del pasado y del presente, considerando que el cambio climático lleva decenios produciéndose y que relacionados con datos meteorológicos ofrezcan información útil para estimar las repercusiones futuras.

Hay dos formas de abordar las repercusiones futuras del cambio climático una extrapolando los datos de estudios que hayan tenido en cuenta situaciones precursoras del cambio climático y otra que utiliza modelos informáticos basados en los conocimientos actuales sobre las relaciones entre las condiciones climáticas y los resultados de salud que si bien no pueden proyectar con exactitud lo que ocurrirá, si lo hacen para diversos escenarios de cambio climático. A partir de esos posibles enfoques hay cinco tareas a abordar:

- Una incógnita a resolver es la sensibilidad de algunos factores relacionados con la salud con las condiciones meteorológicas, sus patrones de variabilidad y los cambios ambientales. Por ejemplo, datos empíricos apuntan a que los casos de gastroenteritis y salmonelosis aumentan con la temperatura, pero falta saber cuáles son los mecanismos de esa influencia y si efectivamente es debido a una reproducción más rápida de los microorganismos.
- Los estudios realizados hasta el momento, fundamentalmente por el IPCC, ofrecen amplia información sobre cambios físicos y ambientales pero es mucho menor la referida a los efectos sobre la salud y a la influencia de las posibles medidas de adaptación y mitigación.
- Los modelos predictivos para diferentes escenarios de cambio climático en función de la evolución de las emisiones de GEI se pueden relacionar con modelos de impacto pero algunos de esos impactos son difíciles de pronosticar como las consecuencias de la inseguridad alimentaria para la salud.
- Las medidas de adaptación en lo que se refiere a la protección frente a los riesgos físicos están muy estudiadas pero sigue habiendo lagunas frente a qué medidas de adaptación pueden prevenir frente a los riesgos para la salud.
- Otra faceta a desarrollar es el análisis costo beneficio de las medidas orientadas a reducir las emisiones de GEI (mitigación) o a aminorar las repercusiones en la salud (adaptación) que requiere valorar los beneficios colaterales de medidas que inicialmente solo parecen contribuir

al primero de ellos. Por ejemplo la mejora de la calidad del aire tiene efectos positivos sobre la incidencia de enfermedades cardiorrespiratorias disminuyendo gastos sanitarios y laborales, pero son beneficios a largo y medio plazo no fáciles de evaluar.

- El calentamiento global sucede en un amplio marco de incertidumbres. Cuestiones generales relativas a las incertidumbres motivadas por los diferentes contextos de escenarios variables, la influencia de factores ajenos, las medidas que se adopten y las diferencias en las condiciones de los sujetos que lo sufren. Es por ello que hace falta trasladar a todos los agentes sociales esas incertidumbres, definir en cada caso que las motiva y colaborar con ellos en formular las dudas a resolver.

Podemos clasificar los fenómenos climáticos extremos en dos tipos o categorías:

- Los episodios de olas de calor o de frío.
- Los procesos inducidos por cambios en los patrones meteorológicos: sequías, inundaciones o huracanes.

Efectos conocidos sobre los vectores que transmiten las enfermedades y causados por el incremento de temperaturas de las masas de agua superficiales son el incremento de las poblaciones de especies de mosquitos que propagan la malaria y enfermedades víricas como el dengue, chikungunya y la fiebre amarilla. Las aguas con escasa renovación, la temperatura y la humedad favorecen la reproducción y disminuyen los tiempos de maduración, pero un calor extremo en condiciones de sequía puede reducir las poblaciones.

El ámbito geográfico en que se manifiesta la malaria han sido fundamentalmente las regiones tropicales y subtropicales debido a sus exigencias bioclimáticas pero el cambio de estas en zonas circundantes aumenta su área de acción, así se ha comprobado por las mayores precipitaciones y temperaturas por el fenómeno El Niño y es lo que cabe esperar por el cambio climático. El problema reside en que los habitantes de esas nuevas áreas carecen de inmunidad protectora y son propensas a las epidemias cuando las condiciones meteorológicas favorecen la transmisión.

Otra referencia relacionada con una enfermedad transmitida por mosquitos, el dengue, la arbovirosis más importante en el ser humano y cuya área de influencia tiene similitudes con la malaria pero con una alta incidencia en el ámbito urbano, es que se ha comprobado su mayor incidencia por efecto

de El Niño, según demuestran correlaciones establecidas entre 1970 y 1995. De nuevo es un anticipo de lo que sucederá cuando el cambio climático reproduzca esas condiciones.

Los inviernos suaves y húmedos aumentan la supervivencia de roedores, que tienen como huéspedes a agentes portadores de enfermedades que se manifiestan cuando se recuperen las condiciones favorables, y se relaciona con ellos y con garrapatas a la enfermedad de Lyme, las encefalitis transmitidas por garrapatas y el síndrome pulmonar por hantavirus. Otras enfermedades también asociadas a roedores, como la leptospirosis, la tularemia y las virosis hemorrágicas, suceden con inundaciones.

La sensibilidad de las enfermedades diarreicas a los condiciones climáticas está demostrada por el aumento de su incidencia en las estaciones cálida y húmedas y con aquellas circunstancias, caso de inundaciones, que afecten a la calidad del agua y que puedan influir sobre la contaminación y que principalmente se centran en el cólera, criptosporidiosis, infecciones por *E. coli*, giardiasis, shigelosis, fiebre tifoidea y las virosis como la hepatitis A.

Las olas de calor y de frío inciden sobre la mortalidad en las regiones de clima templado, cifrándose en un 10–25 % en invierno mayor que en verano. Por ejemplo, y respecto de las olas de calor, en agosto de 2003 una ola de calor en Francia provocó la muerte de 14.802 personas durante un período de 20 días. Hay que considerar que estos incrementos de mortalidad se explican por afectar a personas ya enfermas con problemas cardiovasculares y respiratorios, y en situaciones adicionales de vulnerabilidad por edad u otras circunstancias. Por eso es importante tener en cuenta que una parte de no fácil cuantificación de esas muertes corresponde a personas que hubiesen fallecido en un futuro muy próximo.

Las previsiones del cambio climático auguran que las olas de calor serán más frecuentes, los veranos más calurosos y los inviernos menos fríos. En esos escenarios los modelos han estimado que la mortalidad futura relacionada con la temperatura aumentará y para el año 2050 en ciudades como Nueva York o Detroit se quintuplicará o doblará aun adoptando las medidas de adaptación que hoy se conocen. El impacto del clima extremo en la mortalidad invernal es más difícil de determinar. En los países templados, puede que la disminución de los fallecimientos invernales supere al incremento de los fallecimientos estivales. Sin embargo, sin datos de mejor calidad es difícil estimar el impacto neto sobre la mortalidad anual. Además, variará entre las poblaciones.

4.6. Crisis del agua: el cambio climático y su incidencia en la salud y la diversidad biológica

Otra de las alarmas denunciadas en el Foro de Davos es la crisis del agua apuntando que puede ser uno de los factores que condicione en mayor medida la salud, la producción de alimentos y en suma constituirse en una limitación determinante para el desarrollo y fuente de conflictos internacionales. Los datos actuales de cómo se utilizan los recursos hídricos y las proyecciones para el futuro justifican esa inquietud. Si al volumen de agua extraída de masas superficiales y acuíferos para los diferentes usos se le añade otros indirectos como la navegación o gestión de hábitats más del 40 % del total de las aguas de escorrentía están modificadas respecto de las condiciones naturales del ciclo hidrológico. Únicamente un 15 % de la población mundial vive bajo condiciones que aseguren una disponibilidad adecuada de recursos hídricos y el resto se encuentra en situaciones de diferente stress hídrico.

Ambas amenazas, cambio climático y crisis de los recursos hídricos, muestran sus efectos de forma aislada y también sinérgica sobre el problema considerado en el presente discurso, la pérdida de la diversidad biológica y sus implicaciones en la salud cuya protección y mejora es el objetivo de nuestro trabajo profesional.

En los últimos años la comunidad internacional ha tomado conciencia de este problema, surgiendo así la necesidad de una evaluación integral de las aguas transfronterizas. El Fondo Mundial para el Medio Ambiente (FMAM) y otras organizaciones como las Naciones Unidas hicieron hincapié en la necesidad de investigar las causas de la degradación de las masas de agua transfronterizas y las opciones para hacerlas frente. Esta necesidad condujo al desarrollo de la iniciativa conocida como Evaluación Mundial de Aguas Internacionales (*Global International Water Assessment*, GIWA). La importancia del GIWA se puso de relieve aún más por la Declaración del Milenio aprobada por la Asamblea General de la ONU en 2000, y en particular el Plan de Aplicación de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible en 2002. Este Plan establece, entre otras cosas: la gestión integrada de las cuencas hidrográficas y el aumento de la comprensión de la sostenibilidad a largo plazo de las masas de agua dulce, costeras y marinas; evaluación integrada en los planos mundial y regional para la conservación y gestión de los recursos marinos, los recursos y el uso de las evaluaciones de impacto ambiental en los procesos de toma de decisiones. El proyecto GIWA, que tenía por objeto proporcionar información para apoyar la ejecución de la UNEP (Programa

de ONU-Agua) en colaboración con el Gobierno de Suecia a través de la Agencia Sueca de Desarrollo Internacional (ASDI), y posteriormente también los Gobiernos de Finlandia y Noruega, es una evaluación holística de las principales aguas transfronterizas que se basa en reconocer la relación entre el agua dulce y los recursos marinos. El apoyo científico del informe reside en la Universidad de Kalmar (Suecia).

La importancia del agua en la vida de las personas y los múltiples impactos a los que se ve sometida, justifican la necesidad de estudiar en profundidad las causas y posibles opciones para asegurar el recurso para las generaciones futuras y contribuir a la consecución de los Objetivos del Milenio, en concreto al número 1 (erradicación del hambre) y número 7 (aumentar la seguridad del agua potable). Muchos de los efectos que determinadas actividades provocan sobre los ecosistemas acuáticos tienen dimensiones supranacionales, por lo que el estudio se plantea a una escala global.

El FMAM ha identificado seis esferas en las que centrar sus acciones: la pérdida de la biodiversidad, el cambio climático, la degradación de las aguas internacionales, la degradación de los suelos, la presencia de productos contaminantes orgánicos persistentes y la gestión integrada de los ecosistemas. En lo relativo a las aguas, el FMAM proporciona a los países asistencia técnica, económica, financiera, legislativa e institucional para que sean capaces de gestionar los sistemas acuáticos transnacionales de una manera sostenible, de mejorar la comprensión de los aspectos ambientales de las aguas transnacionales y el trabajo con los mismos, de incentivar la existencia de instituciones con una mayor sensibilidad sobre los aspectos ambientales de estas aguas y de implementar medidas referentes a sus aspectos ambientales.

Los objetivos iniciales de la política y la estrategia del agua de acuerdo con el FMAM eran los siguientes:

- Alcanzar un conocimiento muy bueno de los sistemas de agua dulce y sistemas marinos y costeros que permita su evaluación y establecimiento de áreas prioritarias.
- Aumentar la conciencia de la importancia y las consecuencias de un uso insostenible del agua.
- Apoyar los esfuerzos de los gobiernos para la preparación e implementación de la gestión integrada de ecosistemas de agua dulce y su relación con los medios costeros y marinos.

- Dar soporte a la preparación de planes y programas de gestión de ecosistemas acuáticos, en función de los resultados de las evaluaciones.
- Promover la aplicación de principios de precaución, prevención y anticipación por los agentes implicados.

Para efectuar el GIWA (tabla 1) se tienen en cuenta tanto los factores ambientales como los socioeconómicos y las condiciones futuras.

Tabla 1. Problemas del GIWA y los aspectos ambientales para la evaluación del estado del agua en los sistemas transfronterizos (GIWA, 2001).

Problemas principales del GIWA	Aspectos del medio ambiente
I. Escasez de agua dulce	1. Modificación del caudal 2. Contaminación de las reservas existentes 3. Cambios en el nivel freático
II. Contaminación de las aguas	4. Contaminación microbiológica 5. Eutrofización 6. Contaminación química 7. Sólidos en suspensión, 8. Residuos sólidos, 9. Contaminación térmica, 10. Radionúclidos, 11. Vertidos
III. Sobreexplotación pesquera y otras amenazas a recursos vivos acuáticos	12. Sobreexplotación 13. Exceso de capturas de especies no deseadas y descartes 14. Prácticas destructivas de pesca 15. Disminución de reservas por contaminación y enfermedades 16. Impacto en la variabilidad genética
IV. Modificación de hábitats y comunidades	17. Pérdida de ecosistemas 18. Modificación de ecosistemas o ecotono
V. Cambio global	19. Cambio en el ciclo hidrológico 20. Cambio en el nivel del mar 21. Aumento de la radiación UVB por pérdida de la capa de ozono 22. Cambio en el sumidero oceánico de CO ₂

Los dos objetivos primarios del GIWA son los siguientes:

- Dotar de un mecanismo de priorización que permita al FMAM centrarse en los recursos para que se utilicen de la manera más efectiva desde un punto de vista del coste y de la mejora del medio, a nivel regional, nacional y global.

- Señalar las zonas en las que los gobiernos pueden desarrollar e implementar políticas estratégicas para reducir el deterioro ambiental y mejorar la gestión de los recursos acuáticos.

Con el fin de que las conclusiones fuesen transparentes, cada equipo regional deberá adoptar las siguientes tareas:

- Definición del problema y sus causas inmediatas.
- Recopilación de información sobre el contexto socioeconómico y ambiental del problema (qué actores están implicados, qué administraciones tienen competencias, qué normas, leyes o tradiciones existen al respecto, qué procesos son importantes para el ecosistema, etc.).
- Identificación de los instrumentos políticos, que pueden ir orientados a un cambio en el comportamiento humano (haciendo uso de los mercados, por ejemplo a través de precios que reflejen los costes ambientales) o no.
- Selección de los criterios de evaluación y evaluación de los resultados.
- Selección de las acciones.

En concreto los pasos seguidos son los siguientes:

Paso 1. Definición de las zonas geográficas de drenaje

Se dividió el mundo en 9 megarregiones y 66 regiones transnacionales. Cada una de las regiones contenía una o varias cuencas que drenaban a un mismo sistema marino, que muchas veces se correspondía con un Gran Ecosistema Marino (*Large Marine Ecosystem*, LME). Algunas de estas regiones fueron posteriormente subdivididas en subregiones. Se priorizó el desarrollo de las regiones con economías en transición y pequeñas islas que optasen por la financiación a través del FMAM.

Científicos (unos 1.500), administrativos y expertos en gestión se organizaron en equipos regionales multidisciplinarios, en los que estaban presentes representantes de la región. Estos equipos estaban liderados por un Punto Focal que se trataba de un individuo o una institución u organismo seleccionado por su reputación y experiencia científica.

La gestión del proyecto, de la cooperación, la metodología, la coordinación de los equipos regionales y la redacción del informe final fue tarea del equipo establecido en la Universidad de Kalmar (Suecia).

Paso 2. Ponderación y cuantificación del grado de severidad de los impactos

Se ponderaron y cuantificaron el grado de severidad de los impactos en los cinco problemas definidos en la tabla 1. También se analizaron las causas raíz de cada problema, las tendencias globales del mismo, las políticas, legislación, gobernanza, capacidad institucional y conocimiento.

Para la puntuación de los impactos se utiliza una escala estandarizada de cuatro puntos que establecían los siguientes niveles:

- 0: sin impacto
- 1: impacto leve
- 2: impacto moderado
- 3: impacto severo

Los criterios para la evaluación de cada tema evaluado fueron preestablecidos. Además se ponderó cada uno de ellos en función de su contribución relativa a los impactos ambientales. Para ello se hizo una valoración desde abajo hacia arriba con equipos regionales multidisciplinares. Para asegurar la aplicabilidad a largo plazo de la evaluación, se tuvo en cuenta el escenario más posible de acuerdo con las predicciones demográficas, económicas, tecnológicas y cualquier otro cambio relevante.

La identificación del problema más importante se hizo a través de la puntuación obtenida, corroborada con el criterio de experto. En caso de que no fuesen coincidentes, se siguió asignando pesos de importancia relativa a los impactos presentes y futuros.

Paso 3. Establecimiento de las relaciones causa-efecto

Establecer las relaciones entre las causas y los efectos permite determinar el origen de los problemas y establecer el objetivo de las políticas para resolverlo. Estas relaciones fueron establecidas por un grupo de expertos a partir de relaciones estadísticas.

Paso 4. Adopción de medidas políticas

Las opciones políticas eran fundamentalmente dos:

- Para cada una de las causas identificadas se podían definir diferentes políticas, pero solo se analizaron aquellas con más probabilidad de éxito.
- Seleccionar y aplicar los criterios para evaluar las opciones políticas. En concreto se han centrado en la eficacia, eficiencia, equitatividad y criterios prácticos (su aplicabilidad y viabilidad).

Paso 5. Informes finales

Los resultados de las evaluaciones se plasmaron en los informes regionales, que fueron revisados por, al menos, dos revisores externos para asegurar la validez científica y aplicabilidad de los mismos. Se sintetizan aquí, por su relación directa con los aspectos que han sido conductores de este trabajo, las amenazas que actúan en la crisis de diversidad biológica, las causas de esas amenazas, así como la propia crisis de recursos hídricos y el cambio climático y el papel que todo ello tiene sobre la salud y el bienestar.

4.6.1. Escasez del agua dulce

Como consecuencia del desarrollo demográfico y económico, actualmente la demanda de agua dulce es mayor que la disponibilidad del recursos en varias regiones, tanto desarrollados como en desarrollo. Esto genera un uso excesivo del agua de los ríos y acuíferos que ha provocado su reducción significativa. Por eso se considera que la reducción de agua dulce es el más importante de los problemas estudiados.

En dos terceras partes de las regiones estudiadas se prevé la escasez de agua para 2020 debido al crecimiento de la agricultura, la población y la economía, y en más de la mitad de ellas los impactos serán moderados o severos. Este problema se verá exacerbado por el cambio climático y es especialmente preocupante en zonas áridas y semiáridas, por lo que para zonas de África subsahariana constituye la prioridad más importante.

En relación con la escasez de agua, los aspectos estudiados han sido:

a. Modificación del caudal

La construcción de estructuras de regulación de los ríos (presas y embalses) ha alterado su funcionamiento, lo que ha conllevado en muchas zonas una disminución de los bienes y servicios asociados a los ecosistemas acuáticos, especialmente a los humedales. Además, la alteración de los patrones de caudales provoca la modificación de la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos y ribereños. Destacan los efectos de estas estructuras sobre la fauna piscícola, para la que constituyen una barrera infranqueable, limitando así su migración y aislando comunidades.

A la alteración de los caudales líquidos del río se une la de los caudales sólidos, puesto que la presa retiene todos los sedimentos, impidiendo su distribución hacia aguas abajo, lo que aumenta el poder erosivo del río y puede provocar el retroceso de los deltas o la modificación de las marismas ya en zonas costeras, así como la pérdida de los nutrientes contenidos en el sedimento. A estos problemas se une, especialmente en regiones áridas, la evaporación del agua acumulada, que llega a producir pérdidas del 70 %. El agua embalsada puede además constituir un foco de transmisión de enfermedades como la malaria.

El 70 % del agua captada mediante estructuras artificiales se dedica a la agricultura, devolviéndose al sistema únicamente un 30 %, lo que genera el cultivo de zonas no aptas para el mismo. La escasez del recurso tiene importantes repercusiones en este sector, que es el principal motor económico de algunas regiones. También esta actividad se ha identificado como la causa de los impactos ambientales y socio económicos más severos.

La disminución de los caudales de entrada a las masas de agua más cerradas es especialmente preocupante, puesto que su superficie se ve mermada, llegando en el caso del mar Aral a una pérdida del 60 % de su superficie, y por lo tanto de la productividad asociada al mismo que conlleva la migración de la población al desaparecer el recurso, con las consecuencias internacionales asociadas de grandes movimientos migratorios.

La reducción de los flujos de entrada, unido a la sobreexplotación de los acuíferos y al uso de prácticas de riego poco eficaces que provocan el desperdicio del recurso, han derivado en una salinización de los acuíferos. En consecuencia, muchos de los acuíferos dejan de ser utilizables y las tierras agrícolas se salinizan también. Se genera además un descenso del nivel freático que puede provocar hundimientos del terreno (como en el caso del mar Muerto).

b. Contaminación de las reservas

La contaminación puede ser química o microbiana y provoca la reducción de la capacidad de su uso, generando problemas de salud y un encarecimiento de los costes de tratamiento. Estos problemas afectan a las poblaciones locales, sumándose a la escasez de recurso que ya padecen.

c. Cambios del nivel freático

El agua de los acuíferos se utiliza para dar de beber a 2 billones de personas y producir el 40 % de los alimentos que se consumen y sin embargo, su conocimiento es aún escaso. Su sobreexplotación, como se ha comentado, provoca una salinización del mismo, así como un descenso del nivel freático (que puede llegar a ser de metros como en el caso de Namibia) que dificulta su acceso y encarece su utilización. Esto es un problema más importante sobre todo en las Islas Caribeñas, cuyo abastecimiento de agua potable depende de los acuíferos, que se han visto explotados por el rápido crecimiento poblacional.

d. Cambio climático

Los efectos del cambio climático sobre los recursos de agua dulce son:

- En cuencas con influencia nival los picos de caudales se producirán antes debido a la fusión, incrementando la frecuencia e intensidad de las inundaciones.
- En regiones áridas o semiáridas pequeños cambios en los patrones de precipitación provocarán modificaciones importantes de la escurrentía. Esto convierte a África en una zona muy sensible, debido también a la dependencia que tiene su agricultura de la lluvia.
- Las masas de agua cerradas (como los lagos o mares muy cerrados) son especialmente vulnerables al cambio climático debido a su dependencia de las condiciones climáticas.
- El ascenso del nivel del mar provocará problemas de intrusión salina en los acuíferos costeros. Las islas más pequeñas pueden desaparecer ante este ascenso del nivel del mar.

e. Causas raíz

Tendencias demográficas y económicas

Las tendencias que más afectan al uso de agua dulce son el crecimiento poblacional y la urbanización. El crecimiento demográfico no afecta solo a un aumento de la demanda de agua para uso doméstico, sino que implica una mayor necesidad de agua para la agricultura y la industria para satisfacer las nuevas necesidades. Al crecimiento poblacional se añade el aumento de los ingresos, que conlleva un mayor uso de bienes y servicios, y por lo tanto, una mayor demanda de recursos. Esta tendencia es insostenible por lo que uno de los retos de la gestión del agua es desacoplar estos dos crecimientos. En cuanto a la urbanización, el aumento del porcentaje de población que se concentra en las ciudades conlleva dos problemas: por un lado el mayor consumo del recurso y por otro la generación de aguas residuales que en ocasiones no son adecuadamente tratadas y se vierten al sistema, generando la contaminación del mismo. A esto se suma una mayor superficie impermeabilizada que aumenta la escorrentía superficial, disminuyendo la infiltración.

Demanda agrícola

En relación con el crecimiento demográfico comentado, es necesaria una mayor producción de alimentos, de los cuales el 80 % procede de regadío, con el consumo de agua que eso implica. El problema fundamental del regadío es que se utiliza de manera ineficiente, debido a que no existe la conciencia entre los agricultores y ganaderos de su coste real al estar fuertemente subvencionado.

En zonas áridas y semiáridas además del uso ineficiente del agua agrícola, esto se combina con el cultivo de especies de gran demanda hídrica, la sobreexplotación de los acuíferos, las necesidades del turismo y el crecimiento poblacional, aumentando de manera considerable el problema.

El mercado es causa de los problemas comentados por el aumento de la demanda de productos que consumen agua (con las consecuencias sobre los acuíferos, la salinización de los mismos, etc. anteriormente comentados), pero también puede ser parte de la solución a través del concepto de agua virtual. El término implica considerar todo el agua necesaria para la producción de bienes y servicios, de manera que la huella hídrica de un país se pueda obtener

de la suma del agua de uso doméstico, la necesaria para la producción de los productos que se importan, menos la de aquellos productos que son exportados.

Demanda para energía hidroeléctrica

Esta energía, que actualmente constituye el 20 % de la generada, es una oportunidad de crecimiento para los países en vía de desarrollo. El problema es que estos proyectos son ejecutados a veces sin consideraciones ambientales, agravando las consecuencias ya comentadas para presas y embalses. Estas se perciben especialmente aguas debajo de la actuación, por lo que las poblaciones que sufren los efectos son a menudo las que no reciben los beneficios.

Fallos del mercado

Los fallos del mercado son fundamentalmente dos: (i) impedir el acceso al recurso por medios físicos e institucionales es muy difícil, lo que conlleva un uso excesivo y una baja inversión en mejoras; (ii) el consumo de agua por los usuarios aguas arriba disminuye la cantidad, y en ocasiones la calidad, del recurso disponible para los usuarios aguas abajo.

Fallos políticos

Los fallos políticos identificados son:

- Uso inadecuado de la información científica en la toma de decisiones.
- Falta de un marco legal claro.
- El precio del agua no refleja sus costes reales.
- Ausencia de una estrategia a nivel regional.

Las políticas de subsidios al agua adoptadas no hacen sino aumentar el problema del uso ineficiente del agua, puesto que los usuarios no encuentran incentivos para invertir en mejores técnicas o usar cultivos más adaptados a la disponibilidad de recursos. En consecuencia se cultivan productos como alfalfa o cítricos en regiones con escasez de agua. A los subsidios que recibe el agua se han de sumar los de la energía y los fertilizantes que usa la agri-

cultura y que aumentan el impacto de la actividad sobre el medio. Estos subsidios a la agricultura de regadío se han identificado como un problema en la mayoría de las regiones estudiadas. Sin embargo la posibilidad de subir el precio del agua no es aceptada socialmente, como se ha comprobado en las zonas en las que se ha intentado privatizar la gestión del agua.

Falta de conocimiento y concienciación pública

La disponibilidad de un conocimiento apropiado es muy importante para conocer el recurso y las necesidades humanas, así como para establecer las prioridades de su gestión. Sin embargo, la falta de recursos humanos y materiales y la fragmentación de las diferentes organizaciones impiden alcanzar este conocimiento, que es especialmente notable en los acuíferos. Resulta especialmente importante que la información disponible se trasmita a la comunidad y a todos los agentes implicados. Su inclusión en la toma de decisiones garantiza la eficiencia y éxito de las medidas adoptadas.

f. Conclusiones

La predicción del equipo GIWA es que la escasez incrementará su severidad en dos terceras partes de las regiones analizadas para el año 2020.

Para evitarlo se plantea la necesidad de considerar en la gestión toda la cuenca (incluyendo los estuarios y zonas costeras) como una única unidad, puesto que se considera que existe una falta de estrategias y convenciones en torno al agua (en el 60 % de las cuencas no existe un marco de cooperación en la gestión). Además, como ya se ha comentado, es necesario eliminar los subsidios que impiden que el precio del agua refleje su verdadero coste (que pueden ser sustituidos por subsidios a aquellos propietarios que contribuyan a la mejora del medio mediante la conservación de sus tierras), desacoplar el crecimiento demográfico del uso de recursos, es decir, actuar sobre la demanda en lugar de construir estructuras que degraden el medio para aumentar la oferta. En el caso del abastecimiento urbano es importante minimizar las pérdidas del sistema (que llegan a ser un porcentaje muy alto del consumo en algunos casos), estimular el uso de prácticas más eficientes de consumo por parte de las industrias (desmaterialización) y optimizar la gestión de los reservorios.

La gestión integrada de los recursos hídricos es una herramienta fundamental para promover el desarrollo coordinado de la gestión del agua, maximizar los efectos sobre el bienestar económico y asegurar un uso equitativo de los recursos.

4.6.2. Contaminación de las aguas

De los problemas analizados es el que mayor impacto tiene sobre la salud humana y con diferente importancia según las regiones, considerándose la prioridad principal en un cuarto de las regiones estudiadas. El factor principal de polución son los sólidos suspendidos, que afectan en mayor medida a América Latina, el Sudeste Asiático y el África Subsahariana. Además de los materiales en suspensión también se han estudiado la eutrofización, la contaminación microbiológica, los desechos sólidos, la contaminación química, los vertidos oleosos, los radionúclidos y la contaminación termal. Es importante señalar que entre estos ocho tipos de contaminación se dan con frecuencia efectos sinérgicos considerables.

a. Contaminación microbiológica

El crecimiento demográfico y urbanístico ha provocado un aumento importante de la contaminación microbiológica, asociada a vertidos de aguas residuales sin tratar o insuficientemente tratadas y a purines de ganadería, especialmente en zonas tropicales en desarrollo y áreas costeras densamente pobladas. Esta contaminación provoca riesgos para la salud, asociados al consumo de productos marisqueros y piscícolas contaminados o al baño en aguas insalubres, que llegan a ser mortales en países en vías de desarrollo. Entre sus consecuencias socioeconómicas están la afección a la acuicultura y al turismo. Aunque esta contaminación suele estar muy localizada, sus causas pueden tener escala supranacional.

b. Eutrofización

La agricultura genera la eutrofización de las aguas, con consecuencias transfronterizas en Europa, Asia central y el Noreste Asiático. Su causa principal es la escorrentía desde terrenos agrícolas en los que se han uti-

lizado fertilizantes, aunque en el este de Asia también ha contribuido de manera reseñable el crecimiento de la acuicultura y en zonas de Sudamérica el vertido de aguas residuales insuficientemente tratadas. Los déficits de oxígeno que provocan las proliferaciones algales (se produce una proliferación de productores primarios que al morir generan una gran cantidad de biomasa que consume el oxígeno existente en su descomposición) son especialmente preocupantes en zonas de baja renovación, como los mares cerrados (mar Negro y mar Báltico), pero también zonas costeras con pesquerías importantes sufren sus consecuencias. Además en ocasiones se combina con una sobrepesca con la introducción de especies alóctonas, como el caso del lago Victoria, alterando por completo el ecosistema de la zona. Estos hábitats alterados son más vulnerables a la entrada de especies invasoras, que constituyen un problema muy importante para la conservación de la biodiversidad de una zona. Aunque actualmente sus efectos se concentran en masas de agua más o menos cerradas, que en la costa abarcan hasta los humedales, resulta preocupante la presencia de zonas hipóxicas en costas más expuestas como el golfo de México. Por otra parte, el ascenso de temperaturas que provoca el cambio climático agrava el problema de la eutrofización.

Los efectos socioeconómicos de la eutrofización afectan a la pesca (las proliferaciones de algas pueden ser tóxicas como el caso de las mareas rojas de diatomeas) y al turismo, con gran impacto sobre la economía de la zona, como el caso del mar Negro, que provocó que los países de la zona colaborasen para adoptar medidas comunes y mejorar el estado ambiental.

c. Contaminación química

En más de la mitad de las regiones analizadas, la contaminación química constituye un problema de impacto moderado a severo. Es un problema por su persistencia y capacidad de transporte largas distancias, incorporación a la cadena trófica (donde además de bioacumularse pueden biomagnificarse) y se trata de un problema muy generalizado asociado al uso de sustancias para el control de plagas. Además, generan problemas de salud tanto en el hombre como en los animales así como pérdida de recursos pesqueros aguas abajo del punto de vertido.

d. *Sólidos en suspensión*

La severidad de este impacto se concentra sobre todo en las regiones tropicales, aunque constituye un problema considerable para la mitad de las regiones. Provoca un aumento de la turbidez, reduciendo la productividad primaria, y colmata los lechos de los ríos y zonas de gran valor ecológico como las barreras de coral o las praderas de fanerógamas marinas. Desde el punto de vista socioeconómico las consecuencias se centran en la dificultad para la navegación en cauces colmatados, la acuicultura, la pesca tradicional y el turismo.

También su defecto provoca efectos importantes ya que la existencia de estructuras como presas o embalses que retienen el caudal sólido procedente de aguas arriba provoca un retroceso de los hábitats de las desembocadura como deltas, manglares, marismas y dunas.

Su procedencia fundamental es del desarrollo de las infraestructuras, la deforestación, la minería y la agricultura. Estas causas están muchas veces relacionadas, ya que la deforestación tiene como objetivo la obtención de terrenos para agricultura.

e. *Residuos sólidos*

Estos residuos son transportados por las corrientes fluyentes, convirtiéndolo en un problema transnacional que puede afectar a la salud humana puesto que se contribuyen a crear zonas de reproducción de vectores de enfermedades como el mosquito de la malaria. Además provocan un impacto paisajístico y sobre los hábitats y las comunidades de peces de los ríos.

Este problema afecta sobre todo a África, las islas del Pacífico y el mar de Indonesia. Sus consecuencias socioeconómicas se centran en el turismo debido al impacto paisajístico comentado.

f. *Radionúclidos*

Este tipo de contaminación solo se ha considerado severa en dos regiones de las estudiadas: las islas del Pacífico, asociado a las pruebas de armamento nuclear de Francia y EE UU, y la corriente de Benguela, donde las minas de uranio han contaminado los cauces de los ríos.

g. *Vertidos oleosos*

Estos vertidos proceden de petroleros, accidentes de los barcos, refinerías y oleoductos. Sus efectos suelen ser a corto plazo pero en masas de agua aisladas, donde la renovación del agua es baja, y en zonas frías, dado que a bajas temperatura la degradación del crudo es muy lenta, se convierte en un problema de mayor alcance. Este tipo de contaminación degrada los acuíferos y provoca una pérdida de la diversidad. En cuanto a sus efectos socioeconómicos, se produce un impacto sobre el turismo asociado a la degradación de las playas y los costes para su limpieza son muy elevados.

h. *Sinergias en interacciones entre los distintos tipos de contaminación*

Un ejemplo de las interacciones que se producen entre los distintos tipos de contaminación es la laguna de los Patos, Brasil y Uruguay, en la que gran parte de su superficie circundante fue deforestada, incrementando los sólidos en suspensión que llegaban a ella, para permitir su cultivo. El desarrollo de la agricultura generó importantes escorrentías de los fertilizantes a la laguna que se sumaron a las descargas de aguas domésticas e industriales de las actividades del entorno. El incremento de la turbidez, que obligaba a la realización de dragados para permitir la navegación, redujo la productividad primaria de la zona, que unida a la sobreexplotación pesquera provocó una reducción de los recursos pesqueros disponibles. Además, el mal estado de la laguna disminuyó los ingresos asociados al turismo e incrementó los costes de tratamiento de las aguas, generando un conflicto entre los dos países entre los que se ubica, Brasil y Uruguay.

Causas raíz

Los asuntos considerados principalmente fueron la eutrofización, los sólidos suspendidos y la contaminación química.

Tendencias demográficas y económicas

En muchas regiones el crecimiento urbano y demográfico y su mayor concentración en zonas urbanas no ha sido paralelo al crecimiento de la

capacidad de tratamiento de las aguas residuales, de manera que resulta insuficiente. Además la ubicación de los emigrantes de zonas rurales hacia zona urbanas no se ha producido de manera ordenada, de forma que muchos de estos asentamientos no disponen de infraestructuras de tratamiento de aguas residuales. Por lo tanto estas aguas no tratadas son vertidas a cauces, y en muchas ocasiones puesto que la población tiende a concentrarse en la costa, en el mar, infiltrándose a acuíferos.

La mayor necesidad de alimento debido al crecimiento poblacional ha generado un mayor uso de fertilizantes, aunque de manera muy ineficaz, puesto que el 80 % del nitrógeno se pierde por escorrentía y contamina el agua dulce. Además de los fertilizantes, la agricultura aporta también pesticidas y fosfatos que contaminan las aguas, lo que convierte a la agricultura en la causa más importante de enriquecimiento por nutrientes de las aguas.

Fallos del mercado

La protección de intereses económicos nacionales provoca actuaciones negligentes (legislación más laxa o su aplicación más benévola para atraer turismo o industria) que dan lugar a contaminaciones transnacionales.

Fallos políticos

Se basan en la incapacidad de las instituciones para desarrollar tres funciones clave: identificar los indicadores de un problema y su naturaleza (para lo que resulta necesario apoyarse en un conocimiento científico riguroso), adoptar acuerdos en el que los intereses de todos los agentes dentro de cada país y entre países estén recogidos de forma proporcionada e implementar y ejecutar estos acuerdos. Esta incapacidad se basa en la prevalencia de los intereses a corto plazo frente a un desarrollo sostenible y la corrupción existente en muchos países.

Conclusiones

Se prevé que para el año 2020 la severidad de los impactos de la polución aumenten en tres cuartas partes de las regiones analizadas. Sin embargo,

existen varias opciones políticas y técnicas para reducir el uso de fertilizantes y con ello el aporte de nutrientes por escorrentía, fomentar una acuicultura sostenible y el tratamiento de las aguas residuales. Para el caso de los sólidos en suspensión, la gestión adecuada de los usos del suelo y de esquemas de deforestación más respetuosos con el medio, contribuirán a disminuir el impacto de las actividades. Entre las medidas que se pueden adoptar están las regulaciones (deben ser adecuadas e incentivar a adoptar mejoras), incentivos económicos para prácticas respetuosas con el medio y compromiso público, inversiones públicas en infraestructuras de mejora de la calidad del medio.

4.6.3. Sobreexplotación pesquera

La sobreexplotación de los recursos pesqueros existe prácticamente en todos los lagos y mares evaluados en el informe, de manera que el 80 % de los recursos pesqueros actuales están comprometidos. Esta sobreexplotación se relaciona fundamentalmente con la sobreexplotación del recurso en combinación con el uso de prácticas destructivas.

Las prácticas de pesca tradicionales son respetuosas con el recurso; sin embargo, su sustitución por métodos más productivos ha provocado el agotamiento de los peces disponibles, por degradación del hábitat y las comunidades que mantienen las pesquerías.

En el Sudeste Asiático y Sudamérica son importantes además los descartes, que suponen una gran cantidad de proteínas desaprovechadas.

La mejora de la eficacia de las pesquerías es un punto crucial para la erradicación del hambre (Objetivo del Milenio) puesto que una parte importante de la población mundial depende de esta actividad para su aporte proteico. Además, su impacto socioeconómico, debido a la gran cantidad de personas que dependen de la pesca, hace necesario su mantenimiento de una manera sostenible para asegurar la pervivencia de la pesca y la acuicultura.

Los impactos socioeconómicos y ambientales detectados son los siguientes:

a. Sobreexplotación

La sobreexplotación, que se produce cuando la tasa de extracción del recurso es mayor a su capacidad de reemplazo y mantenimiento por repro-

ducción, es el problema considerado severo en más regiones de los analizados. La disminución en tasas altas de un eslabón de la cadena trófica la modifica por completo, fomentando el crecimiento descontrolado de los niveles inferiores. Esto provoca a su vez la desaparición del recurso, como en el caso del mar de Barents en el océano Ártico, que tiene consecuencias socioeconómicas sobre el sector al no existir el recurso. La disminución de la abundancia de las especies comerciales, además de a su extracción directa, se debe a la destrucción de sus hábitats, como manglares, arrecifes o praderas de fanerógamas.

La estrecha relación de la fauna piscícola con el cambio climático, debido a su influencia en las corrientes de alimentación, zonas de afloramientos, etc. los convierten en especialmente vulnerables a las modificaciones que se están produciendo.

La sobreexplotación es también una fuente de conflictos porque en determinadas zonas la mayor parte del pescado es exportado, provocando una malnutrición de la población local que ve como no puede disponer de los recursos.

b. *Capturas accidentales y descartes*

El uso de técnicas de pesca poco selectivas como el arrastre provoca la captura de muchas especies sin interés comercial o demasiado pequeñas para ser vendidas. Estos individuos se devuelven al mar pero sus opciones de supervivencia son muy bajas, por lo que, en zonas donde el porcentaje de descartes es alto, se producen alteraciones de la estructura de edad que puede poner en peligro la supervivencia de la especie. Cuando las especies capturadas tienen un gran valor ecológico por ser especies protegidas, el problema se agrava ya que se compromete la biodiversidad del sistema. Además se generan conflictos, puesto que estos descartes se vierten en zonas diferentes a donde se han pescado en ocasiones, donde pueden causar daños a las pesquerías locales.

c. *Artes de pesca destructivas*

En tres de cada cuatro regiones analizadas el uso de sistemas de pesca destructivos se ha clasificado como un impacto moderado o severo, ya

que provoca la destrucción del hábitat acuático. En concreto los sistemas de arrastre destruyen los fondos, por lo que la comunidad bentónica es la más afectada. En zonas tropicales donde las praderas son especialmente importantes por constituir una zona de refugio, reproducción y alimentación para una gran cantidad de especies, su eliminación altera por completo el ecosistema. Muy agresivos, especialmente para las barreras de coral, resultan el uso de explosivos o de químicos que acaban afectando a otras pesquerías dada la no selectividad del sistema. La recuperación de las zonas dañadas por estos sistemas tiene un coste económico considerable, al que se añaden los riesgos para la salud por el consumo de peces intoxicados.

d. *Impactos de la acuicultura*

La acuicultura resulta fundamental para garantizar el aporte proteico en zonas tropicales y subtropicales por lo que el sector está creciendo a un ritmo superior al de cualquier otro. La expansión de enfermedades desde cultivos de acuicultura puede afectar a las comunidades salvajes, llegando a colapsarlas, con el consecuente impacto económico. Además los cultivos que introducen especies alóctonas u organismos modificados genéticamente merman la biodiversidad del entorno en el que se encuentran y alteran su estructura si se produce la fuga de algún organismo. En casos extremos, como los ocurridos en Filipinas o Vietnam, las especies introducidas pueden llegar a desplazar a las nativas. Además de estos impactos, las instalaciones de acuicultura necesitan en ocasiones la destrucción de hábitats como manglares para su ubicación y pueden provocar la eutrofización de la zona y otros tipos de contaminación.

e. *Causas raíz*

Recursos comunes

La gran movilidad de los peces provoca que sean compartidos por varios países, de manera que si uno de ellos lo captura deja de estar disponible para los demás. Esto ha provocado la prevalencia de intereses individuales frente al tratamiento global de la comunidad, estableciéndose el pensamiento de que lo que no pesque uno lo pescarán otros.

Tendencias

La demanda de pescado está aumentando, sobre todo en determinados países, provocando un crecimiento importante de las instalaciones de acuicultura.

Conocimiento insuficiente

El conocimiento científico insuficiente y la falta de concienciación de usuarios y pescadores son los mayores obstáculos para la aplicación de las políticas y la gestión.

Un instrumento de gestión habitual es el establecimiento de cuotas de captura en función del tamaño y la edad de los peces, pero esto exige un monitoreo de la población para adaptar los criterios a la variabilidad de la comunidad.

Estas deficiencias en el conocimiento se deben a las siguientes causas:

- El equipo redactor ha constatado que, aun existiendo información científica rigurosa, ésta no se comunica a los agentes implicados, como los pescadores, que no conocen el impacto sobre el medio de sus técnicas.
- No se consiguen modificaciones de las prácticas pesqueras por ignorancia, dificultades incomprendidas o la incapacidad de los pescadores para actuar.
- En la gestión de las pesquerías muchas veces no se consideran los conocimientos tradicionales, con mucho que aportar a las estrategias de gestión.

Subsidios inadecuados

Muchos de los subsidios concedidos a flotas pesqueras no persiguen el control de la extracción y el uso de técnicas más selectivas, sino que se favorece la sobreexplotación.

Falta de aplicación

La incapacidad de muchos gobiernos, sobre todo de países en desarrollo, de aplicar las normativas pesqueras, las restricciones de pesca, las zonas

protegidas, etc. se debe a la fuerza del lobby pesquero y a las implicaciones socio económicas de ponerle trabas a esta actividad.

Pobreza

La pobreza es tanto una causa como a veces una consecuencia de la sobreexplotación. Las comunidades más vulnerables son aquellas con una mayor dependencia de los recursos

Informar a los agentes involucrados

En zonas donde el acceso al crédito está limitado, no existen alternativas de empleo y no hay una red de apoyo social, la explotación insostenible de los recursos pesqueros y el uso de técnicas destructivas es a veces la única alternativa para conseguir mayores cantidades de alimento.

Conclusiones

Los instrumentos que permiten la introducción de consideraciones ambientales en la gestión de las pesquerías son los siguientes:

- Es indispensable disponer de información sobre la cantidad de recurso disponible para la gestión de las pesquerías. Esta información debe facilitarse a los diferentes agentes implicados: pescadores, consumidores, gobiernos, industria alimentaria, etc.
- Modificación de los subsidios y programas de reducción de la flota.
- Para evitar las tendencias de destrucción del hábitat y merma del recurso que prevén la disminución de las capturas es necesaria la modificación de los subsidios, conduciéndolos a incentivar el uso de técnicas menos agresivas, así como establecer un marco normativo claro y garantizar su aplicación. La reducción de estos subsidios debe ser progresiva y contar con el apoyo social para evitar posibles problemas.

Establecimiento de cuotas y otras limitaciones a las capturas

El establecimiento de cuotas se basa en el conocimiento, con base científica rigurosa, del límite de la sostenibilidad del sistema. Además, haciendo estas cuotas transferibles la eficiencia del sistema mejora.

Establecimiento de zona marinas protegidas

Es necesario declarar zonas marinas protegidas y zonas de pesca limitadas, de manera que se asegure la renovación del sistema y la protección de especies objetivo de conservación.

Aunque la designación de estas zonas puede ser costosa, proveen a largo plazo de múltiples beneficios, como el mantenimiento de las comunidades de peces.

4.6.4. Modificación de hábitats y comunidades

La modificación de los hábitats es habitualmente una consecuencia de los demás problemas comentados: la disminución de los caudales de agua dulce, la contaminación, la entrada de especies invasoras y la sobrepesca.

La construcción de estructuras de regulación y los cambios del uso del suelo (que en ocasiones provocan además la introducción de especies invasoras) son las principales causas de la destrucción de los hábitats de agua dulce, y con ello de la biodiversidad, lo que genera un cambio en la estructura de la comunidad natural. En el caso de los hábitats marinos y costeros, su alteración se debe fundamentalmente a la actividad de las pesquerías.

En las zona marinas evaluadas, se ha encontrado que todos los hábitats de corales se encontraban alterados, fundamentalmente debido a las prácticas de las pesquerías y a la ocupación de la costa.

El estudio ha considerado tanto la pérdida de los hábitats como su degradación, en los cinco hábitats principales identificados en las regiones evaluadas: ríos, lagos, arrecifes de coral, manglares y praderas marinas.

La modificación de los hábitats es una prioridad en una de cada cinco regiones evaluadas, especialmente del Noreste Asiático y de Sudamérica.

a. Hábitats de agua dulce

Sus impactos socioeconómicos incluyen la pérdida de las pesquerías y del turismo, con las pérdidas de empleo que supone, así como el gasto en medidas de mitigación.

Ríos

Los dos factores principales que alteran los ríos son (i) la entrada de contaminantes, sedimentos y nutrientes, y (ii) los cambios del régimen de caudales.

La actuación que más determina el cambio del régimen de caudales es la construcción de estructuras de reserva de agua, como presas o embalses. En las consideraciones para su construcción se tienen en cuenta los beneficios económicos que suponen (obtención de energía, laminación de avenidas, etc.); sin embargo, no se considera que altera por completo el régimen natural aguas abajo, modificando los hábitats y las comunidades, lo que provoca la pérdida de la diversidad del sistema, así como su capacidad para proveer de servicios a la Humanidad. A esta modificación del régimen de caudales se une en muchos casos la deforestación de la cuenca que incrementa los sólidos que llegan al río, que al ver disminuido su caudal circulante no puede arrastrarlos, lo que genera la colmatación del lecho que dificulta la vida piscícola. Por ello, la construcción de reservas de agua requiere realizar previamente una rigurosa declaración de impacto ambiental.

Al descender el caudal circulante es necesario realizar dragados para permitir la navegación, lo que supone una afección directa sobre las comunidades bentónicas. Además se modifica el nivel freático, lo que impide la supervivencia de las especies de ribera presentes antes de la alteración, facilitando la implantación de vegetación invasora. Aguas arriba de la estructura se pasa de un sistema lótico (ríos y arroyos) a uno léntico (lagunas y lagos), lo que supone una sustitución de las comunidades presentes, más propias, tras la construcción de la presa, de una laguna que de un río.

El caso del mar Caspio muestra como los daños derivados de la construcción de una presa se extienden hacia todas las comunidades de la cuenca (por alteración del hábitat y pérdida de recursos pesqueros); mientras que los beneficios de la obtención de energía y disponibilidad de agua para riego se concentran en una única población.

Lagos

Los factores principales que afectan a los lagos son la construcción de presas que reducen los caudales circulantes, las desviaciones de cauces para uso del agua, los cambios de usos de las tierras de las cuencas de drenaje,

la introducción de especies invasoras, la sobrepesca y la salinización por la disminución de los caudales de entrada.

La disminución de los caudales de entrada suele ser la causa más importante, que desencadena las demás. Es el caso del mar de Aral o el mar Muerto en los que la disminución de las entradas de flujos ha provocado una pérdida importante de su superficie y su salinización hasta niveles que han provocado el colapso de los hábitats dulces que albergaban, que en ocasiones, como el lago Chad, han sido sustituidos por hábitats de aguas salobres. En consecuencia se han perdido zonas de gran productividad pesquera, lo que ha tenido consecuencias sobre las posibilidades de empleo y la salud de los habitantes de las zonas.

Arrecifes de coral

Cuando además de la reducción de los caudales de entrada se produce una deforestación de la cuenca, que aumenta los sólidos que entran al lago, se produce su eutrofización. Esto provoca la dominancia de muy pocas especies en detrimento de especies endémicas, lo que unido a la introducción de especies alóctonas con interés comercial, provoca la pérdida del ecosistema.

Hábitats marinos

Los recursos marinos están en riesgo debido a la falta de control en su acceso. Esto provoca una pérdida de su diversidad que repercute en los recursos pesqueros y en el turismo. Los impactos principales a los que está sometida esta zona son la contaminación y la eutrofización.

El grado de impacto de los arrecifes depende de la densidad de la población instalada en la zona, así como su facilidad de acceso a los mismos. Así, zonas muy pobladas desarrollan actividades impactantes como técnicas destructivas de pesca, sedimentación, el desarrollo urbanístico de la costa y el turismo. Asociado a estos dos últimos se generan gran cantidad de efluentes que son vertidos sin tratar a los arrecifes o sus zonas próximas, provocando la eutrofización del medio. Esta eutrofización, y la modificación del ecosistema asociada, se ve incrementada en las zonas de desarrollo de la agricultura, debido a la incorporación de nutrientes procedentes de los fertilizantes. A los impactos ya señalados se une el cambio climático, con gran afección sobre los sistemas acuáticos.

Los corales en buen estado proveen de beneficios económicos como la seguridad alimentaria, empleo, turismo, producción en investigación farmacéutica y protección de la línea de costa. Sin embargo, la degradación que han sufrido en las últimas décadas han costado a países como Indonesia casi el doble de los beneficios que obtenían manteniéndolos en buen estado.

Manglares

Los manglares son hábitats muy importantes como zonas de refugio y alimentación para gran cantidad de peces y crustáceos, así como proveedores de madera para las actividades humanas y zonas de protección y filtrado de la costa. La sustitución de estas zonas por cosechas o plantas de acuicultura, o su destrucción para ocuparlos con urbanizaciones o infraestructuras, implican la pérdida de los recursos pesqueros y marisqueros asociados a la misma. Además en el caso de la acuicultura, se generan conflictos entre los pescadores tradicionales y las plantas de acuicultura, puesto que estas últimas se apropian de manera privada de un recurso común.

Praderas marinas

Se trata de hábitats muy productivos con un papel fundamental como zona de cría de peces y crustáceos y filtradores y estabilizadores de sedimentos. Esto implica beneficios económicos. Se ven degradadas por el vertido de nutrientes y por su destrucción para ocupación de zonas urbanizadas y por técnicas agresivas de pesca. Son directamente destruidas por dragados para permitir la operatividad de los puertos, asociada al turismo. Además estos dragados generan turbideces, que al igual de las generadas por vertidos, impiden la fotosíntesis de los productores primarios, degradando el hábitat. Estas zonas, al igual que se ha comentado para los ecosistemas de agua dulce, son muy susceptibles a la entrada de especies alóctonas.

Causas raíz

Las causas más inmediatas identificadas son la contaminación, la entrada de especies invasoras, la modificación de los flujos y la sobrepesca. Los sectores que causan principalmente estos impactos son la agricultura y las pesquerías.

Tendencias demográficas y económicas

El aumento poblacional y el incremento de la demanda de productos provocan una mayor presión sobre los hábitats, aumentando los impactos que se dan sobre ellos. Uno de los productos cuya demanda está aumentando es la del pescado, por lo que cada vez son necesarias más instalaciones de acuicultura, con la contaminación, deforestación e introducción de especies que conllevan.

Fallos de mercado

El precio de los productos piscícolas no reflejan los costes ambientales que suponen al ecosistema, si así fuese, el coste de las prácticas de pesca más agresivas sería inasumible e impulsaría su desaparición.

Fallos políticos

En muchas regiones el conocimiento científico del medio en relación con las actividades humanas es muy limitado o está condicionado por presiones de sectores como la pesca, lo que impide adoptar medidas políticas con una base adecuada.

En otras zonas donde el conocimiento científico es adecuado, el problema reside en que en la toma de decisiones no se incorpora a todos los agentes sociales, lo que compromete el éxito de la medida.

Conclusiones

El aumento de población provoca un aumento de la demanda de agua para beber, regar los alimentos, obtener energía eléctrica y eliminar los residuos. A esta presión sobre los sistemas de agua dulce se une la introducción de especies invasoras. El aumento de la conciencia pública y la adopción de sistemas de gestión integradas contribuirán solo parcialmente a la reducción de la tasa de degradación de los hábitats.

El incremento de la necesidad de recursos afecta también a los hábitats costeros, al que se añade la presión por urbanización de la línea de costa, la

sobrepesca, la sedimentación, la contaminación y la expansión de la acuicultura. Debido a la gran movilidad de las especies piscícolas, las aves y los mamíferos marinos, los efectos son, con mucha frecuencia, transnacionales.

Es necesario la existencia de legislación para regular el uso tanto de los recursos de agua dulce como de agua marina, pero además es importante su aplicación e implementación.

El equipo GIWA sugiere llevar a cabo intervenciones en los siguientes cuatro grupos:

- *Construcción de un conocimiento base:* La evaluación económica de los bienes de los que provee la naturaleza es aún insuficiente y no se utilizan como herramienta en la toma de decisiones, lo que provoca que las consideraciones ambientales no se tengan en cuenta.
- *Integración de los ecosistemas en las políticas:* Una manera de llevar a cabo esta integración es a través de las políticas de gestión integrada de zonas costeras, de forma análoga a la gestión integrada de cuenca comentada para las aguas dulces. Además en estas políticas es necesario considerar el desarrollo sostenible de las zonas protegidas, de manera que se consiga compatibilizar las actividades humanas con la preservación del medio. De esta manera la población local no ve las zonas protegidas como limitaciones al crecimiento sino como una oportunidad.
- *Apoyo a la definición de áreas marinas:* Es necesario el establecimiento de zonas protegidas en las que las actividades humanas causan un deterioro que es incompatible con su conservación.
- *Fortalecimiento de la capacidad institucional:* El diseño y la implementación de las políticas de conservación y el uso sostenible requiere de la cooperación e integración de diferentes disciplinas, así como de la consideración de los diferentes agentes implicados en la toma de decisiones.

El uso insostenible del agua dulce y la sobrepesca son dos de los problemas más importantes con repercusiones supranacionales. Su efecto combinado con el del cambio climático y la polución provocan una modificación de los hábitats que tiene como resultado una pérdida de la biodiversidad.

La tendencia es un aumento de la severidad de la escasez de agua dulce, la contaminación y la modificación de los hábitats, incrementado por el efecto del cambio climático.

A pesar de las diferencias entre el agua dulce y la marina, sus causas raíz fundamentales son la pobreza y el crecimiento demográfico. La experiencia ha demostrado que la construcción de estructuras como embalses o presas no es la solución, sino que se ha de trabajar en una gestión en la que intervengan todos los agentes implicados.

Los efectos negativos de las pesquerías pueden reducirse mediante la limitación de uso de sistemas destructivos y la introducción de tecnologías más selectivas que eviten la captura de especies accidentales y los descartes. En las zonas de afloramientos la gestión de las pesquerías debe adaptarse a las fluctuaciones climáticas. Sin embargo, la aplicación de estas medidas se encuentra en ocasiones con una falta de voluntad política debido a la oposición de los pescadores, lo que impide su éxito.

Existen una gran variedad de instrumentos que se pueden aplicar para alcanzar una gestión sostenible de las pesquerías (reformas de los subsidios, cierres estacionales de zonas, reducción de la flota, etc.) pero es importante que todas ellas cuenten con la involucración de los diferentes agentes sociales.

La degradación de la zona marina no se debe solo a las pesquerías, sino que se observa un incremento de los materiales en suspensión debido a las actividades de urbanización de la costa, los dragados y la deforestación de las cuencas. Además en esta zona se instalan actividades como extracciones de petróleo y gas, molinos eólicos y ocupación por urbanización y turismo.

Para evitar el establecimiento de usos que puedan dañar irreversiblemente la diversidad de espacios de gran valor ecológico, se recomienda la declaración de zonas marinas protegidas.

Retos internacionales de los sistemas de agua dulce

El impacto principal se debe a la construcción de estructuras de regulación del flujo que permiten el desarrollo de actividades humanas como la irrigación, la toma para abastecimiento o la obtención de energía a costa de fragmentar el cauce. Otro factor importante de alteración de los ríos son las canalizaciones de ríos meandriformes para permitir su navegación.

Los cambios en los usos del suelo han modificado los patrones de drenaje de la cuenca y la recarga del acuífero. Esto unido a la regulación de los flujos modifica los patrones de evaporación, la estacionalidad de las avenidas, las

dinámicas de erosión-sedimentación y el nivel freático. Estas alteraciones reducen la biodiversidad de los hábitats aguas abajo, afectando a marismas.

La reducción de la recarga de los acuíferos unido a prácticas inadecuadas de irrigación provoca la salinización de los mismos y, por lo tanto, reduce aún más la disponibilidad de agua dulce. Esta reducción de agua dulce disponible es el problema más severo de los considerados.

Lo anteriormente comentado (usos inadecuados de la tierra, sistemas de irrigación ineficaces, evaporación en los reservorios) junto con el crecimiento demográfico provoca un aumento de la demanda que ha resultado en sequías cada vez más habituales y de más duración.

Respuestas de gestión

La mayoría de los asuntos comentados tienen las mismas causas raíz: cambio climático, crecimiento demográfico, migración hacia zonas costeras, urbanización, crecimiento de la industria, aumento de la presión sobre los recursos económicos, globalización de los mercados y mayor demanda de bienes y servicios. No se trata de asuntos relacionados exclusivamente con el agua, por lo que deben ser abordados desde niveles políticos altos; sin embargo, algunos asuntos pueden ser abordados con la consideración de los diferentes agentes sociales.

Entre las herramientas para alcanzar un desarrollo sostenible, destacan la gestión integrada de zonas costeras y la gestión integrada de recursos acuáticos.

4.6.5. Cambio climático y enfermedades relacionadas con el agua

Protozoos, bacterias y virus son los principales agentes relacionados con enfermedades transmitidas por vía hídrica pero también toxinas producidas por ciertas algas y cianobacterias y los productos químicos introducidos en las masas de agua por las actividades humanas hacen que a través de la ingestión, inhalación o contacto directo con los usos de agua para beber, usos recreativos o consumo de productos como pescados y mariscos o alimentos regados con agua contaminada, sean otras potenciales causas de enfermedad. Los factores relacionados con el cambio climático, como el aumento de temperatura y las mayores precipitaciones y escorrentías así como efectos

relacionados, huracanes y tormentas, influyen en las tasas de supervivencia, difusión, virulencia y toxicidad de esos agentes transmisores de enfermedades relacionadas con el agua a lo que se añade la mayor probabilidad de aparición y transmisión de ellas en situaciones de desastres naturales.

Además de considerar la influencia de ciertos factores sociales y de comportamiento colaterales la investigación epidemiológica se orienta hacia mejorar el conocimiento de cómo esos factores asociados al cambio climático afectan a los procesos de exposición a los agentes patógenos y a las toxinas. Estos estudios incluyen los riesgos para la salud vinculados al consumo también de peces, mariscos y otros productos alimentarios que están en contacto con aguas contaminadas o al uso recreativo de las masas de agua. Hay que añadir la incidencia de algunos de los efectos físicos del cambio climático, como el aumento del riesgo de inundaciones o del nivel del mar, que pueden afectar a instalaciones críticas para asegurar la calidad del agua como instalaciones de tratamiento de agua potable o de depuración de aguas residuales.

Para reducir los riesgos para la salud pública relacionados con el agua las autoridades sanitarias y las agencias establecen normas de calidad para los diferentes usos, recomiendan pautas de comportamiento en el consumo de productos y elaboran reportes de información epidemiológica pese a lo cual muchas enfermedades relacionadas con el agua no son diagnosticadas o declaradas y lleva a que se subestimen.

Los factores epidemiológicos relacionados con las aguas superficiales están mucho mejor documentados que en el caso de aguas marítimas y así sucede por ejemplo en la amplia diferencia existente entre los casos informados de gastroenteritis vinculados al uso del agua para beber, cultivo y preparación de alimentos cultivados o funciones higiénicas y los brotes originados por consumir alimentos de origen marino o el baño en aguas litorales. En el uso recreativo de aguas marinas las vías de exposición con agentes patógenos son oculares, el oído, infecciones por contacto con heridas o ingestión ocasional. Como ejemplo de incidencia asociada al cambio climático las tasas de enfermedad para todas las infecciones de *Vibrio* se han triplicado desde 1996, con un crecimiento del 40 % como consecuencia del efecto conjunto del incremento de las temperaturas en el agua costera y de la concentración de carbono orgánico disuelto proporcionando condiciones óptimas para su desarrollo. Otro factor que influye es el cambio de salinidad en la zona litoral como consecuencia de la variación de las condiciones hidrodinámicas que

generan la mayor intensidad de vientos y cambio de dirección, dilución por aporte de aguas de escorrentía etc., que induce modificaciones en factores de extinción y reproducción. Se sabe por ejemplo que una mayor salinidad favorece la presencia de *V. parahaemolyticus* y *V. alginolyticus* y tiene menor influencia en la de *V. vulnificus*.

También influye el aumento de temperatura en floraciones explosivas de algas nocivas que producen cianobacterias, en determinados lugares geográficos responsables de casi la mitad los brotes epidemiológicos en aguas de baño generando enfermedades que incluyen procesos dermatológicos, gastrointestinales, respiratorios y síntomas neurológicos, sobre todo en los niños y adultos jóvenes. Las mareas rojas producen las toxinas de *Karenia brevis*, cuyas células se acumulan en el agua, que al ser nebulizada y transportada por el viento y las olas causan una enfermedad respiratoria aguda e irritación de los ojos.

En general las zonas de cultivos marinos y zonas de marisqueo se encuentran en aguas someras, próximas a zonas habitadas con capacidad de emisión de contaminantes y muy sensibles a los efectos del cambio climático que pueden potenciar los efectos de los patógenos presentes a lo que se añade el agravante de que algunos de los productos se consumen crudos.

Agentes patógenos como los virus entéricos, tipo norovirus y hepatitis A pueden aumentar su presencia en las zonas de cultivo y recolección como consecuencia de los mayores caudales de aguas de escorrentía y su tasa de supervivencia y reproducción por la variación asociada de condiciones bioclimáticas que genera el cambio climático, salinidad, productividad y temperatura principalmente. Muchas especies con efectos nocivos, como las medusas, cambian también en función de dichos factores el ámbito geográfico de presencia y las ventanas temporales en que esta se produce.

Las floraciones masivas de algas o “*blooms*” se están haciendo más frecuentes, persistentes y en espacios más amplios. Aunque es complejo atribuir sus orígenes, pues influyen factores como la acuicultura y las aguas de lastrado de buques, está comprobada la influencia del cambio climático en casos como el alga bentónica del género *Gambierdiscus*, que a través de la cadena trófica produce en los humanos la enfermedad de la ciguatera y como ejemplo de la magnitud que sobre todos los aspectos relacionados con la salud, entre ellos el de la demanda de medicamentos, va a tener el aumento en 2° C la temperatura, se estima que esta última enfermedad aumentaría en un 400 % su incidencia en EE UU.

a. Efectos del cambio climático sobre la seguridad alimentaria

A todos efectos ya comentados que sobre la salud y el bienestar puede ejercer el cambio climático se añade la forma en que puede afectar a la cantidad y calidad de los recursos alimentarios disponibles que a su vez pueden ocasionar que los primeros se exacerben.

Es obvio que todos los cambios en las condiciones bioclimáticas pueden tener influencia sobre la producción de alimentos por reducir la superficie adecuada para cultivos y la productividad de estos. Una disminución de la producción bruta de alimentos puede forzar el uso de más fertilizantes y productos fitosanitarios que además de incidir sobre la diversidad biológica aumentan la exposición humana a estos contaminantes. Por otro lado los eventos meteorológicos extremos destruyen cultivos y afectan a la logística de distribución de alimentos.

Pero además el aumento de la concentración atmosférica de CO₂ estimula el crecimiento y la producción de carbohidratos en algunas plantas, pero puede disminuir los niveles de proteína y minerales esenciales en una gran variedad de cultivos incluyendo algunos tan básicos en la dieta de millones de personas como el trigo, el arroz, y patatas.

Alguna de las causas y formas en que se manifiestan estas afecciones son las siguientes:

- Los cambios en las temperaturas del aire y del agua y los fenómenos extremos pueden desplazar las épocas y el espacio geográfico en que actúan bacterias, virus parásitos, hongos y otros contaminantes.
- En ambientes más cálidos la conservación de los alimentos es más difícil y costosa aumentando las pérdidas y el deterioro de su calidad con riesgo de intoxicaciones alimentarias.
- El cambio climático influye en el destino, el transporte, la transmisión, y la tasa de multiplicación de microorganismos patógenos en la cadena alimentaria. Los cambios en la temperatura y la humedad no afectan a todos los patógenos presentes en los alimentos por igual. Algunos como *Salmonella*, *Escherichia coli*, y *Campylobacter*, se desarrollan mejor en condiciones cálidas y húmedas. Hay un pico en verano en la incidencia de las enfermedades asociado con estos patógenos aunque también puede influir que en esa época cambian las pautas de preparación con mayor número de barbacoas y picnics.

- Aunque los cambios de temperatura pueden extender las épocas productivas de los cultivos también se amplían las de desarrollo de agentes patógenos y depredadores o parásitos.
- El continuo aumento de CO₂ en la atmósfera afecta a la presencia de micronutrientes indispensables para la salud humana como cobre, hierro, magnesio y zinc. La disminución prevista en las concentraciones de minerales en los cultivos se ha atribuido al menos dos efectos distintos. En primer lugar, el aumento de CO₂ aumenta la acumulación de carbohidratos en los tejidos de las plantas y diluye la concentración de otros componentes como los minerales. En segundo lugar las concentraciones altas de CO₂ reducen las demandas de agua de las plantas y se absorben menos minerales a través de la raíz. Tal reducción en la calidad del cultivo puede agravar las deficiencias nutricionales, en particular para las poblaciones con condiciones de salud preexistentes.
- Aunque el aumento de CO₂ estimula el crecimiento de las plantas y la producción de hidratos de carbono el valor nutricional (proteínas y minerales) de la mayoría de los cultivos disminuye. A medida que aumenta la concentración de CO₂, las plantas necesitan menos proteínas para la fotosíntesis, lo que resulta en una disminución general en sus cultivos y puede en ciertas regiones tener efectos negativos en la dieta.
- Las micotoxinas son sustancias químicas tóxicas producidas por hongos que crecen en los cultivos antes de la cosecha y durante el almacenamiento. Antes de la cosecha el aumento de las temperaturas y la sequía producen estrés en las plantas que favorecen el crecimiento de moho y afectan a la biología de los insectos vectores de enfermedades a los cultivos.

4.7. Contaminantes emergentes: disruptores endocrinos

En el año 2003 la Comisión Europea propuso una nueva norma sobre productos químicos que se incorporó a la normativa comunitaria en 2006 como Reglamento REACH (*Registration, Evaluation, Authorization and restriction of chemical substances*). La norma obliga a los fabricantes e importadores de productos químicos a proporcionar los datos científicos básicos para todas las sustancias químicas producidas en cantidades superiores a una tonelada y otras informaciones más detalladas para ciertas sustancias. Con motivo de la presentación de la propuesta fue noticia mundial el gesto de la entonces

Comisaria de Medio Ambiente Europea, Margaret Wallstrom, quién envió 70 mL de muestra de su sangre para ser analizada en el Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Lancaster en el Reino Unido, dentro de un proyecto promovido por *World Wildlife Fund* (WWF). La sangre de la Comisaria contenía 77 compuestos químicos de origen no natural, fundamentalmente de las familias de los PCBs (policlorobifenilos), PBDE (polibromo difenil eter) y OCT (pesticidas organoclorados).

Era una llamada de atención mediática sobre un problema que ya años atrás era objeto de estudio por los científicos y que en tiempos más recientes constituye lo que se ha venido a llamar contaminantes emergentes. Es un término que sirve de referencia para un grupo de compuestos cuyos criterios de clasificación son quizás ambiguos. Su carácter de emergentes se asocia a que tengan una estructura química y grupos funcionales no conocidos anteriormente, por responder a nuevos usos, inducir nuevos efectos, actuar por nuevas rutas de exposición o por mecanismos de acción previamente no conocidos o suficientemente investigados. Pero la característica común que les define mayoritariamente tal vez sea el poder ejercer acciones de gran repercusión sobre procesos biológicos clave en concentraciones extremadamente bajas, incluso en los límites de detección de las técnicas analíticas más sofisticadas.

Una razón ya suficiente para que este tipo de contaminantes sea objeto de estudio para la ciencia farmacéutica es que un grupo de compuestos incluido entre los denominados disruptores endocrinos son los restos de medicamentos que se incorporan al medio ambiente por diversas vías, pero el problema de los contaminantes emergentes es en la actualidad uno de los que más amenazan a la diversidad biológica y afrontar este reto es un proceso de gran complejidad científica que requiere de un enfoque multidisciplinar en el que los farmacéuticos pueden hacer grandes aportaciones. Desde su identificación y especiación, a través de sus rutas en el medio ambiente, en la investigación de sus mecanismos de interferencia e incluso en las soluciones de tratamiento de los vectores.

Algunos autores diferencian dos grandes grupos de contaminantes emergentes, los compuestos de disrupción endocrina (*Endocrine Disrupting Chemical*, EDCs), y productos de uso personal (*Pharmaceuticals and Personal Care Products*, PPCPs). Todo un universo de compuestos químicos de origen antropogénico en continuo crecimiento por la aparición de nuevos fármacos y medicamentos veterinarios, productos fitosanitarios y de otros productos químicos de uso doméstico que han adquirido nueva relevancia ambiental como fuente de microcontaminantes.

La creciente preocupación del mundo científico por potenciales efectos de compuestos que inciden en los procesos fundamentales de organismos vivos ha llegado a los ámbitos en que se toman las decisiones políticas y a la propia opinión pública cada vez más sensible y alarmada ante este problema. Para que las medidas que se adopten tengan la eficacia deseada y para evitar que una información defectuosa, por insuficiente o por alarmista, desvirtúe las estrategias a implementar se ha desarrollado el Programa Internacional de Seguridad las Sustancias Químicas (*International Programme on Chemical Safety*, IPCS), cuyos objetivos son “establecer la base científica para evaluar el riesgo derivado de la exposición a sustancias químicas para la salud humana y el ambiente, mediante procesos de revisión ejecutados por expertos internacionales, como un requisito para fomentar la seguridad química, y proporcionar ayuda técnica a fin de fortalecer las capacidades nacionales para la adecuada gestión racional de los productos químicos” .

Los contaminantes emergentes que figuran al frente de esa preocupación son los llamados disruptores endocrinos (EDCs), definidos como sustancias o una mezcla de sustancias exógenas que alteran la función del sistema endocrino y, en consecuencia, causan efectos adversos en la salud de un organismo intacto, su progenie o sus poblaciones. Por su parte un disruptor endocrino potencial es una sustancia o mezcla de sustancias exógenas que posee propiedades que podría esperarse lleven a disrupción endocrina en un organismo intacto, su progenie o sus poblaciones.

La interferencia de los EDCs con la función del sistema endocrino se realiza por tres caminos: mimetizando la función de las hormonas naturales, como estrógeno o testosterona imitando así reacciones similares a las que producen estas; actuando como bloqueadores sobre los propios receptores celulares hormonales impidiendo que se realicen las funciones hormonales naturales o alterando las reacciones de síntesis, transporte, metabolismo y excreción de hormonas, con el resultado final de modificar las concentraciones de estas.

Es habitual establecer dos grupos entre las sustancias que interfieren el sistema endocrino:

- **Hormonas naturales**, presentes en el cuerpo humano y animal, como los estrógenos y andrógenos responsables del desarrollo sexual, y los fitoestrógenos, procedentes de algunas plantas. Éstos últimos se incorporan en el organismo a través de la dieta, si bien su vida media es muy breve, lo que impide su bioacumulación y modificación del equilibrio

hormonal, a diferencia del siguiente grupo de compuestos sintéticos que permanecen acumulándose en los tejidos.

- **Substancias antropogénicas**, susceptibles de diferenciación en dos grupos:
 - Hormonas sintéticas, desarrolladas para imitar a las naturales con el propósito de modificar los procesos endocrinos, caso de los contraceptivos, o dosis correctoras de los niveles de hormonas naturales.
 - Compuestos químicos diseñados para aplicaciones específicas y que liberados al medio ambiente interfieren en los procesos endocrinos de todos los seres que forman la diversidad biológica incluida la especie humana. Se encuentran entre ellos miles de compuestos de uso industrial, en agricultura y otros como las dioxinas que se generan como contaminantes residuales en procesos industriales y de combustión. La característica que confiere a este grupo su negatividad medioambiental es su persistencia, incluso años, y consecuente capacidad de bioacumulación. Estas características justifican su denominación oficial con Compuestos Orgánicos Persistentes (POPS en acrónimo inglés) que adquirió carta de naturaleza al impulsar las Naciones Unidas el Convenio de Estocolmo cuyo objetivo es proteger la salud humana y el medio ambiente de la acción de estos compuestos eliminando y reduciendo su presencia en el medio ambiente.

Los compuestos disruptores del sistema endocrino se incluyen en algunas familias ampliamente presentes y dispersadas en la naturaleza como son:

- Bifenilos policlorados (PCBs) (dioxinas y benzopirenos).
- Productos relacionados con polímeros sintéticos (ftalatos, bisfenol)
- Pesticidas (insecticidas como o,p'-DDT, endosulfán, dieldrín, dicofol y toxafeno; herbicidas como alaclor, atrazina y nitrofenol; fungicidas como benomilo y mancozeb; nematocidas como aldicarb y dibromocloropropano).
- Productos de uso doméstico usados como surfactantes (alquilfenoles, nonilfenol y octifenol).
- Productos ignífugos (difenilos polibromados o PBDEs).
- Metales pesados (plomo, mercurio y cadmio).
- Productos de la degradación de compuestos farmacéuticos presentes en las aguas residuales urbanas o de la industria farmacéutica.

Una descripción prolija de las familias de compuestos químicos citados nos ofrece información sobre la gran diversidad de algunas de ellas caso de los insecticidas clorados (p'-p'-DDT; dieldrin y metoxicloro, p'-p'-DDE, un metabolito del p'-p'-DDT, el agente antihongos vinclozolin, y los insecticidas clornitrofen, fenitroton y el fention). Muchos más de los que aquí se citan son mostrados como potenciales disruptores bien en ensayos con cobayas o en algún caso clínico pero como se detallará posteriormente con muchas incertidumbres a la hora de certificar evidencias.

Se asocian algunos hidroxibifenilos policlorados (hidroxi-PCBs), concretamente el 4,4'-dihidroxi-3,3',5,5'-tetraclorobifenil, con las actividades hormonales anti-tiroidea y estrogénica. Ensayos en modelos murinos han permitido identificar que el 3-hidroxil (bisfenol A catecol), un metabolito del bisfenol A formado en los microsomas hepáticos, posee actividad estrogénica.

Un caso interesante en cuanto sirve de ejemplo sobre la necesidad de prevenir el uso de compuestos químicos, conociendo antes sus posibles efectos, incluso cuando originalmente el objetivo fuera evitar problemas ambientales, es el de los agentes surfactantes en los detergentes. En los años setenta las impactantes imágenes de cursos fluviales con una espesa capa de espuma por el vertido de aguas residuales urbanas con detergentes impulsó la sustitución de los polifosfatos, causantes además de procesos de eutrofización en las masas de agua receptoras. Incluso pasó a ser un reclamo publicitario la ausencia de estos compuestos en los detergentes de uso doméstico.

Los compuestos químicos sustitutivos como agentes surfactantes pertenecen a la familia de alquilfenoles etoxilados, que incluyen entre los más utilizados los octilfenoles etoxilados y nonilfenol etoxilados. Estos compuestos, en su incorporación al ciclo urbano del agua, se degradan en parte y dan lugar a nonilfenoles, octilfenoles y alquilfenoles más persistentes que el compuesto original y por su mayor similitud con los compuestos naturales con mayor capacidad de inducir procesos de disrupción endocrina. La cantidad que a nivel mundial se produce de estos compuestos supera el medio millón de toneladas anuales de las que casi la cuarta parte se destina al uso doméstico y elimina a través de las aguas residuales urbanas contaminando las masas de agua que son la principal vía de incorporación de estos contaminantes a los componentes de la diversidad biológica.

Los factores que determinan el riesgo de los compuestos químicos considerados de actuar como EDCs dependen para familias de compuestos isómeros también de la estructura molecular lo que puede determinar desde

que actúen o no como tales a en caso afirmativo condicionar la potencia de su acción, la persistencia y los mecanismos de actuación. Por ese motivo en los estudios epidemiológicos la prospección analítica habrá de tener en cuenta esto y poner en juego técnicas analíticas instrumentales con gran poder de resolución.

Entre los agentes exógenos existen algunos cuyo origen no es industrial pero que por su ubicuidad y acción disruptora se incluyen en la problemática que venimos considerando. Los que aparecen con más frecuencia en muestras biológicas de seres humanos y animales son los fitoestrógenos y micoestrógenos capaces de competir con compuestos químicos antropogénicos en su interferencia disruptora.

a. Impacto sobre la diversidad biológica y salud humana

La solicitud al Programa Internacional de Seguridad Química (*International Programme of Chemical Safety*) por parte de la OMS para que arrojase luz sobre las incertidumbres existentes se centró en una revisión de la literatura científica que establezca casos demostrados de relación entre exposición ambiental y efectos adversos o que identifique modelos concretos de interrupción endocrina centrándose en este caso en conocer cuál es la alteración funcional que origina los efectos adversos.

Es crítico el conocimiento de factores como la relación exposición efecto, dosis respuesta, la función de las hormonas de origen natural o los fitoestrógenos, que tienen relevancia fundamental para los EDCs. La variedad de mecanismos y vías en que estos pueden actuar añade mucha complejidad y exige mucho rigor para atribuir a factores ambientales antropogénicos la causa de los efectos. El conocimiento de los mecanismos de acción es aún deficiente y limita el poder diferenciar efectos directos e indirectos, su carácter primario versus secundario en situaciones de exposición. La conclusión primera es la necesidad de advertir que los datos experimentales in vivo son limitados mientras que los experimentos in vitro deben ser aplicados con reservas a los efectos de los EDCs sobre la vida humana y la diversidad biológica y mientras no se avance en cubrir las lagunas señaladas habrá discrepancias sobre el tema.

Frente a los condicionantes por falta de pruebas científicas el informe elaborado para la OMS sí que recoge conclusiones que atañen a la inter-

pretación de la información disponible tal que la dependencia del efecto de inhibición del momento de “programación” del sistema endocrino que puede ser irreversible en las primeras fases de aquella. Otra conclusión es que una vez superada esa fase, en la edad adulta, pueden entrar en juego mecanismos homeostáticos que atemperen o anulen los efectos, en suma estos dependen de las diferentes etapas vitales. La edad en que se produce la exposición a los EDCs es un comprobado factor de riesgo tanto para el cáncer como para los efectos en los procesos de desarrollo, neurológicos, inmunológicos y reproductivos.

Actualmente interesan los efectos de los EDCs sobre la diversidad biológica por las razones éticas y pragmáticas que en el análisis respecto de la problemática de su conservación se ha venido realizando en este trabajo pero inicialmente se orientaba en mayor medida su estudio como posible indicador de alerta sobre los efectos en la salud humana. Existen evidencias de efectos diversos con diferente naturaleza y grado de adversidad sobre la reproducción sexual en la vida silvestre. Entre los más referenciados entre los mamíferos está la regresión en la población de focas del mar Báltico expuestas a concentraciones altas de compuestos organoclorados (PCBs, DDE) que han afectado a su mecanismo endocrino reproductivo e inmunológico pero sin que se conozca la acción concreta en que se efectúa esa alteración. En el caso de aves es desde hace tiempo conocido el efecto del DDT sobre la consistencia de la cáscara de los huevos y la consiguiente tasa de fallos reproductivos, razón por la cual ya hace tiempo se prohibió el uso de este potente agente insecticida, cuyo descubridor por cierto recibió el premio Nobel de química. Usado sobre todo en humedales y cultivos próximos supuso un éxito en el control de plagas reduciendo la incidencia de la malaria y mejorando la productividad de cultivos que redujo el hambre en zonas de pobreza. Pero su persistencia y refractariedad a la biodegradación propiciaba su incorporación a la cadena trófica hasta llegar a causar los efectos citados en los individuos de la cúspide de esta como las aves con una dieta fundamental de especies piscícolas. Se conoce como “síndrome de anomalías embrionarias” (GLEMEDS) pero cómo se relaciona exactamente con la función endocrina es desconocido.

La alteración de procesos homeostáticos endocrinos que produjeron alteraciones gonadales y el descenso de la población de caimanes en un humedal de Florida se ha asociado a un vertido accidental de pesticidas con presencia de compuestos organoclorados pero sin confirmación de varias teorías acerca de su mecanismo de acción endocrina.

Sin duda es en las especies piscícolas dónde más son los estudios y mayores las evidencias obtenidas sobre alteraciones de función endocrina como consecuencia de vertidos conteniendo EDCs procedentes de retornos de aguas de riego con presencia de fitosanitarios, efluentes del blanqueo en la producción de celulosa o los propios microcontaminantes presentes en las aguas residuales urbanas y sobre cuya problemática se trata posteriormente con mayor detalle. Los estudios citados consideran que están implicados mecanismos muy diversos que modifican la interacción hormona-receptor, causan interferencia con la biosíntesis de esteroides sexuales y alteran el funcionamiento pituitario. Por último también se reportan casos demostrados de efectos sobre los invertebrados, uno de ellos impactante por el tipo de alteración y la consecuencia final sobre la especie. El biocida TBT utilizado para proteger las superficies en contacto con el agua de la formación de biopelículas causó la masculinización de gasterópodos marinos y la práctica desaparición de la especie. Sin certeza absoluta aún es quizás uno de los mecanismos de acción más conocidos al que se atribuye los niveles elevados de andrógenos al inhibir la actividad de la aromatasas.

La pretensión de extrapolar a la salud humana los casos y efectos debe hacerse con prudencia y entre las causas de esta recomendación se encuentra el que las investigaciones se refieren a pocas especies, concernientes a poblaciones frente a la focalización en individuos en el caso de EDCs y las relaciones causa efecto, dosis y exposición pueden verse influenciadas por el efecto de otros vectores ambientales en áreas de elevada contaminación.

Es preciso señalar que existen razones ciertas para que preocupe el efecto que los EDCs tienen sobre la salud humana y que esa inquietud justificada debe de traducirse por un lado en avanzar en la investigación científica de los tipos de compuestos y mecanismos de acción involucrados, en el perfeccionamiento de los métodos analíticos de caracterización y en las acciones de control ambiental para reducir la exposición a este tipo de contaminantes. Pero al mismo tiempo hay que citar las incertidumbres existentes en la actualidad pues el rigor científico que exige un tema con implicaciones tan variadas y trascendentes no puede asentarse sobre evidencias cuestionadas. Y en la actualidad aún existe falta de estas sobre la causalidad entre la exposición a contaminantes en tan bajas concentraciones y los efectos sobre la salud humana. La falta de homogeneidad en los estudios experimentales realizados (tiempo de realización, datos de exposición, etc.) son algunas de las causas, pero que deben considerarse frente a los efectos que se citan a continuación.

Hay certeza de que desde las fechas en que la industrialización ha alterado el medio ambiente han aparecido distorsiones en la reproducción humana que van desde mayores tasas de abortos no asociados a procesos patológicos comunes al deterioro de la calidad del semen. Pero no es fácil desligar el posible efecto de los EDCs respecto del efecto comprobado que tiene algunos contaminantes ambientales no implicados directamente en la disrupción de procesos endocrinos. Sucede así con la atribución de las posibles causas de anormalidades del tracto reproductivo masculino como es caso de la hipospadia y criptorquidia. Similares dudas sobre si se puede asignar a los EDCs la responsabilidad mayor o exclusiva frente a otros factores existe para la endometriosis; la anticipación de la pubertad o la alteración de la función inmune. Hay más evidencia de la alteración del funcionamiento neuronal en la etapa prenatal por la exposición a PCB según una acción claramente de proceso endocrino y el mecanismo responsable actúa sobre la función tiroidea o neurotransmisora.

La investigación sobre el cáncer concreta grandes esfuerzos de miles de investigadores y la asignación de enormes recursos. En ese contexto la certeza de la influencia de los factores ambientales en la incidencia de algunos tipos de cáncer ha centrado la atención en la relación con contaminantes del medio ambiente y entre ellos los EDCs, los que actúen a través de mecanismos de disrupción endocrina. A pesar de que se ha comentado que la exposición a EDCs aumenta la incidencia de cáncer en tejidos sensibles a la actividad hormonal los métodos más avanzados de diagnóstico no han permitido certificarlo y se asocian a la mayor presencia de productos químicos en el medio ambiente.

El caso del cáncer de mama es un adecuado ejemplo de la dificultad de relacionar el efecto de EDCs con la incidencia cancerígena. El informe para la OMS dice que la evidencia científica actual no apoya una asociación directa entre la exposición a EDCs ambiental y el aumento de riesgo del cáncer de mama, pero los datos de exposición son actuales y se carece de los referidos a los que pudieron tener en las épocas de desarrollo de mayor riesgo por factores intrínsecos biológicos, pero también porque en aquellas épocas la contaminación ambiental por organoclorados era mayor. También en el caso de cáncer de testículos y de próstata la vinculación a la exposición a organoclorados contrasta con la datación de casos cuando aún este tipo de compuestos químicos no existían.

De nuevo es preciso señalar que, pese a esa falta de confirmación científica en los supuestos considerados, la mera presunción plausible de daño a

funciones biológicas tan importantes particularmente al sistema reproductivo y a los sistemas en desarrollo; las evidencias de efectos adversos sobre la vida silvestre y en animales de laboratorio expuestos a EDC y la tendencia de ciertos cambios en la salud humana, hacen que sea muy necesario potenciar la investigación sobre los EDCs. Una laguna a cubrir es la falta de datos sobre la exposición que hasta ahora se limita a casos de compuestos orgánicos en países desarrollados, en situaciones de altas dosis, ligadas a contaminación del agua o alimentos, mientras que es muy escasa la referida a las etapas de desarrollo que permita comparar la relación exposición respuesta en estudios de campo y epidemiológicos.

La combinación de fuentes de información procedente de estudios de toxicidad, epidemiológicos, de campo, contribuyen a mejorar la evaluación de la relación dosis-respuesta en relación a los efectos sobre la salud y el ambiente de los disruptores que pueden complementarse con estudios de modelos experimentales, para la evaluación de los efectos potenciales sobre seres humanos por exposición a bajas dosis de disruptores endocrinos; mejorando el estudio del estado del conocimiento sobre las relaciones cuantitativas de los procesos homeostáticos y como sus disfunciones llevan a la enfermedad; y con la cuantificación de estos cambios.

Cuando se evalúa para estudios epidemiológicos la exposición de las personas a la acción de EDCs ha de considerarse el caso de los grupos que por diversas razones sean más vulnerables, las diferentes etapas del ciclo vital, condiciones ambientales y de patrones de vida. Entre las fases de desarrollo es necesario considerar las diferencias de repercusiones según se produzcan en la gestación, lactancia, adolescencia y senilidad. Las diferencias genéticas, dietas alimentarias, calidad ambiental del entorno son factores a considerar a la hora de valorar la exposición que debe de tener en cuenta las diversas vías de incorporación de contaminantes (respiratoria, digestiva, dérmica) e incluir evaluaciones del ambiente externo (concentraciones en aire, agua, suelos y alimentos), además de las internas (sangre, orina y tejidos).

Existen factores que añaden aún más complejidad a la identificación y valoración de efectos como es la posibilidad de que algunos de estos tengan ámbito transgeneracional; que la acción no la realicen los compuestos químicos iniciales si no sus metabolitos; la velocidad con que estos se generen y su estabilidad; y posibles interferencias con otros compuestos con acciones antagónicas, sinérgicas o de adición.

Las propuestas que el estudio de la OMS sugiere son avanzar en la investigación de efectos de los disruptores endocrinos sobre la diversidad biológica despejando cuantas más de las incertidumbres existentes son las siguientes:

En cuanto a la metodología mejorar los métodos de medir la relación dosis respuesta en las concentraciones ambientales e identificar biomarcadores con sensibilidad adecuada para detectar efectos hormonales en individuos y poblaciones.

El monitoreo debe identificar especies de referencia para establecer líneas base, incluir nuevas tendencias en problemas emergentes de salud humana y fomentar la colaboración internacional en procedimientos de medida y técnicas de investigación.

Es necesario progresar en la identificación de sustancias químicas (persistentes y no persistentes, naturales y antropogénicas) que sean significativas por su impacto sobre las poblaciones en concentraciones relevantes ambientalmente. También se sugiere identificar a aquellos puntos medulares (*hot spots*) que se relacionen con motivos especiales de preocupación por el grado de exposición o efectos. La mayor atención debe de dirigirse hacia las poblaciones y grupos más sensibles y vulnerables considerando el papel de los disruptores en relación con otras presiones ambientales que actúen sobre estas.

Como solución a las frecuentes referencias hechas sobre carencias de información, mayor en países fuera de Europa y EE UU, se sugiere mejorar la información global sobre estado y tendencias de la contaminación ambiental, exposición y efectos sobre la salud, coordinando con bases de datos la información internacional sobre los efectos causados por los disruptores endocrinos. Concluyendo que “el estado actual de la ciencia revela que la comprensión de los efectos de los EDCs sobre la vida silvestre y los seres humanos es, hoy en día, incompleta”. Afirmando que “la evidencia existente sobre el importante impacto sobre la vida humana y silvestre por exposición a altos niveles de EDCs indica que este mecanismo potencial de toxicidad merece nuestra especial atención”.

Se insiste en la incertidumbre sobre los efectos provocados cuando la exposición tiene el carácter de crónica y las dosis son bajas actuando sobre la fundamental función del sistema endocrino manteniendo la homeostasis, y que ello justifica se considere el estudio de esta situación una prioridad internacional. Centrando la urgencia en identificar cuáles son las etapas del ciclo vital más vulnerables a los efectos de los EDCs para entender cómo este mecanismo de toxicidad puede afectar los individuos y comunidades.

b. Presencia de fármacos y derivados en el medio hídrico

La alarma respecto de la presencia de EDCs en el agua se justifica por los valores de los compuestos químicos encontrados en muestras de diferentes masas de agua e incluso en el agua de consumo. En el caso de los que guardan relación con productos farmacéuticos su presencia se debe a los vertidos de las industrias donde se obtienen, y aguas residuales de centros hospitalarios y de las propias viviendas siendo un factor capital la reducida o nula eficiencia de los procesos de depuración convencionales. Además en esos procesos y en su permanencia en el medio ambiente sufren degradaciones parciales que pueden generar moléculas más activas. Supone un reto para el sector y los profesionales de éste el control en origen de estos contaminantes y el desarrollo de alternativas de tratamiento que reduzcan o eliminen su toxicidad.

Los fármacos con más probabilidad de encontrarse en el medio ambiente acuático son:

- **Analgésicos/antiinflamatorios:** paracetamol, acetilsalicílico, ibuprofeno
- **Antibióticos-macrólidos:** claritromicina, dehydroeritromicina, roxitromicina, lincomicina
- **Sulfamidas:** sulfametoxazol, sulfadimetoxina, sulfametacina, sulfatiazol
- **Fluoroquinolonas:** ciprofloxacina, norfloxacina, enrofloxacina
- **Tetraciclinas:** clortetraciclina, oxitetraciclina, tetraciclina ...
- **Cloranfenicol, tilosin, trimetoprim**
- **Antiepilépticos:** carbamazepina, primidona
- **β -Bloqueantes:** metoprolol, propanolol, bisoprolol, betaxolol, nadolol, sotalol
- **Reguladores de lípidos:** ácido clofibrico, bezafibrato, gemfibrozil, ác. Fenofibrico
- **Medios de contraste en rayos X:** diatrizoato, iohexol, iopamidol, iopromide, iomeprol
- **Citostáticos (quimioterapia):** ifosfamida, ciclofosfamida
- **Anticonceptivos orales:** etinilestradiol, mestranol
- **Esteroides:** coprostanol, estradiol, progesterona, testosterona.

- **Broncodilatadores, tranquilizantes, antihistamínicos, barbitúricos, antidiabéticos...**

Varias sustancias pertenecientes a todos los grupos de contaminantes emergentes mencionados están reguladas en la última Directiva del agua. La Directiva 2008/105/EC del Parlamento Europeo relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas, por la que se modifican y derogan ulteriormente las Directivas 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE y 86/280/CEE del Consejo, y por la que se modifica la Directiva 2000/60/CE, expone en su artículo 4, que los estados miembros de la UE deben de aplicar las medidas necesarias para reducir progresivamente la contaminación procedente de las denominadas sustancias prioritarias e interrumpir o suprimir gradualmente las emisiones, los vertidos y las pérdidas de las sustancias catalogadas como peligrosas prioritarias. Las 33 sustancias denominadas prioritarias y las catalogadas como peligrosas prioritarias están inidentificadas en el Anexo II y X de la Directiva Marco del Agua (DMA). Además, esta directiva presenta en su Anexo III una lista de sustancias que quedan pendientes de estudio para posteriormente ser o no se incluídas en estas listas de sustancias prioritarias o peligrosas prioritarias. Los anexos II y III de esta Directiva están incluidos en los anexos II y III de este proyecto. También en un informe del 31 de enero del 2012, la Comisión Europea propuso identificar algunas de las sustancias que quedaban pendientes de estudio en el Anexo III de la Directiva 2008/105/EC en la lista de prioritarias. Estas sustancias son: aclonifen, bifenoix, cibutrina, cipermetrina, diclorvos, terbutrina, 17 alfa-etilnestradiol, 17-beta-estradiol y diclofenaco. Este informe técnico además propone incluir como sustancias peligrosas prioritarias: dicofol, sulfonato de prefluorooctano y sus derivados (PFOS), quinoxifen, dioxinas y compuestos similares a las dioxinas (*dioxin-like compounds*), hexabromociclododecano (HBCDD) y heptacloro/heptacloro epóxido.

Debido a estas Directivas, varios de estos compuestos han sido estudiados en los últimos años sobre todo en aguas potables, superficiales y residuales. Sin embargo, la información de estos compuestos en fangos es todavía muy escasa. Esta información se hace de vital importancia para saber el ciclo de estos compuestos en el medio ambiente, ya que la mayoría de ellos presentan elevados coeficientes de partición octanol-agua (K_{ow}) y de adsorción al carbono orgánico (K_{oc}), con lo que estos compuestos tienden a ser eliminados en las plantas depuradoras, adheridos a la materia orgánica del fango. Esto significa que aunque se alcancen elevados porcentajes de eliminación de las aguas residuales en las plantas depuradoras, estas sustancias tienden a concentrarse

en los fangos. Un número muy bajo de estudios que analizan la eliminación de EDCs en las plantas depuradoras, incluyen la fase sólida (línea de fangos).

El uso de los fangos en los suelos como fertilizante representa una de las vías más importantes de reintroducir estas sustancias en el medio ambiente. Una vez son introducidas, sus características físicas y químicas arriba mencionadas, hacen que además, estas sustancias sean resistentes a la degradación medio ambiental a través de procesos químicos, biológicos y fotolíticos. Por estas razones, algunas de estas sustancias se ha observado que persisten en el medio ambiente y que tienen la capacidad de ser transportadas a largas distancias adheridas a las partículas atmosféricas. Esto ha generado, que se hayan encontrado concentraciones de algunas de estas sustancias, como por ejemplo PBDEs en lugares tan remotos como el Ártico. Además de esto, estas sustancias que se adhieren a la materia orgánica tienden a adherirse al tejido adiposo dentro del cuerpo, por lo que se bioacumulan en tejidos humanos y animales, con lo que su introducción dentro de la cadena trófica es evidente, produciéndose en muchos casos su biomagnificación. Esto presenta ciertos impactos negativos en la salud humana y animal.

Cada año, las plantas de tratamiento de aguas residuales generan millones de toneladas de fangos en todo el mundo. En los últimos años esta producción se ha visto incrementada por las exigencia de la Comisión Europea en lo que a depuración de aguas residuales se refiere (Directivas 91/271/EEC y 98/15/EEC). Esta exigencia he propiciado el aumento de número de plantas de tratamientos de aguas residuales que están actualmente operativas y en consecuencia, la cantidad de fango generado que debe de ser gestionado. Los tres destinos más comunes para el fango generado son: incineración, vertedero y aplicación en suelos.

La Directiva de la Unión Europea 86/278/EC de junio de 1986, relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura, establece límites en las concentraciones de varios metales pesados presentes en los fangos. Aunque límites para EDCs no han sido todavía establecidos, en al año 2000, la UE publicó el tercer borrador para establecer una futura Directiva de fangos. Este borrador titulado en inglés “*Working document on sludge*” establece límites más restrictivos para metales pesados y por primera vez, se incluyen limites a algunos EDCs como: **AOX** (compuestos orgánicos halogenados), **LAS** (sulfonatos de alquilbenceno lineales), **DEHP** (di(2-etilhexil) ftalato), **NPE** (nonilfenol etoxilato), **PAH** (hidrocarburos policíclicos aromáticos), **PCBs** (policlorobife-

nilos) y **PCDD/F** (policlorodibenceno dioxinas y policlorodibenceno furanos). Aunque este tema está en continuo estudio y se está trabajando para llegar a un borrador en el que científicos, técnicos y administraciones lleguen a un acuerdo para decidir que compuestos se deben de regular y que concentraciones deberían de ser establecidas, hasta la fecha es un tema que sigue sin resolver. Sin embargo, ya existen países de la UE que han regulados algunas de estas sustancias en fangos para uso como fertilizantes. Dinamarca estableció en 1996 concentraciones límites de DEHP de 50 ppm; 1300 ppm de LAS, 10 ppm de NPE, 3 ppm de PAH y 0,4 ppm de PCB. Austria y Alemania han establecido límites sólo para las concentraciones de PCBs; sin embargo, los límites para estos compuestos son más restrictivos que en Dinamarca. Se admite una concentración máxima de PCBs en fangos de 0,2 ppm.

Otro obstáculo que se debe de mencionar sobre el monitoreo de EDCs en fangos, es la falta de técnicas analíticas validadas para su medida, debida generalmente a la dificultad de extraer y medir este tipo de compuestos a concentraciones de *ppb* (partes por billón) o *ppt* (partes por trillón) a las que están presentes en los fangos. Además de las bajas concentraciones presentadas, el fango es una matriz muy compleja que contiene un elevadísimo número de contaminantes que a menudo producen unas interferencias en los métodos de análisis que invalidan los mismos. Por lo tanto, el desarrollo de una metodología precisa y reproducible para cada compuesto a estudiar, es el primer paso para el estudio de los mismos.

Por otro lado, aunque no exista una legislación europea que limite la concentración de estos EDCs presentes en los fangos y que, además, exista una controversia sobre cuáles deberían de ser los EDCs a regular y cuáles deberían de ser los límites, no se puede, ni se debe de obviar, el hecho de que existen muchas preguntas que están todavía sin respuesta y que se definen de vital importancia para diseñar un programa de manejo y disposición de fangos de una manera segura desde el punto de vista medio ambiental y de salud. De ahí, que la Unión Europea fomente el continuo estudio de las concentraciones de sustancias en los fangos y sus posibles procesos de eliminación.

En relación con las alternativas de depuración de las aguas residuales de la industria farmacéutica, las características a considerar son su amplia variabilidad dependiendo del tipo de proceso y su refractariedad a los procesos de depuración biológica convencionales consecuencia de la escasa biodegradabilidad de sus componentes combinada con frecuencia con un efecto tóxico sobre los microorganismos responsables de los procesos de depuración.

En vertidos de características similares los Procesos de Oxidación Avanzada (POA) se han propuesto como alternativa de menor costo que las convencionales con alta eficacia para para la degradación total de contaminantes químicos refractarios evitando también la formación de compuestos intermedios tóxicos. Una ventaja añadida es que al no aplicar agentes desinfectantes como el cloro se evitan compuestos residuales organohalogenados de gran toxicidad para la biota.

El mecanismo químico por el que actúan los POA es a través de la formación de radicales OH de gran capacidad de reacción y versatilidad. En la figura 4 se esquematizan los diferentes procesos, ente ellos el Fenton, y sus diferentes modalidades. Se basa en la acción combinada de H_2O_2 y Fe^{2+} (o Fe^{3+}), que actúa como catalizador, y existen variantes como el uso de la radiación UV o los ultrasonidos.

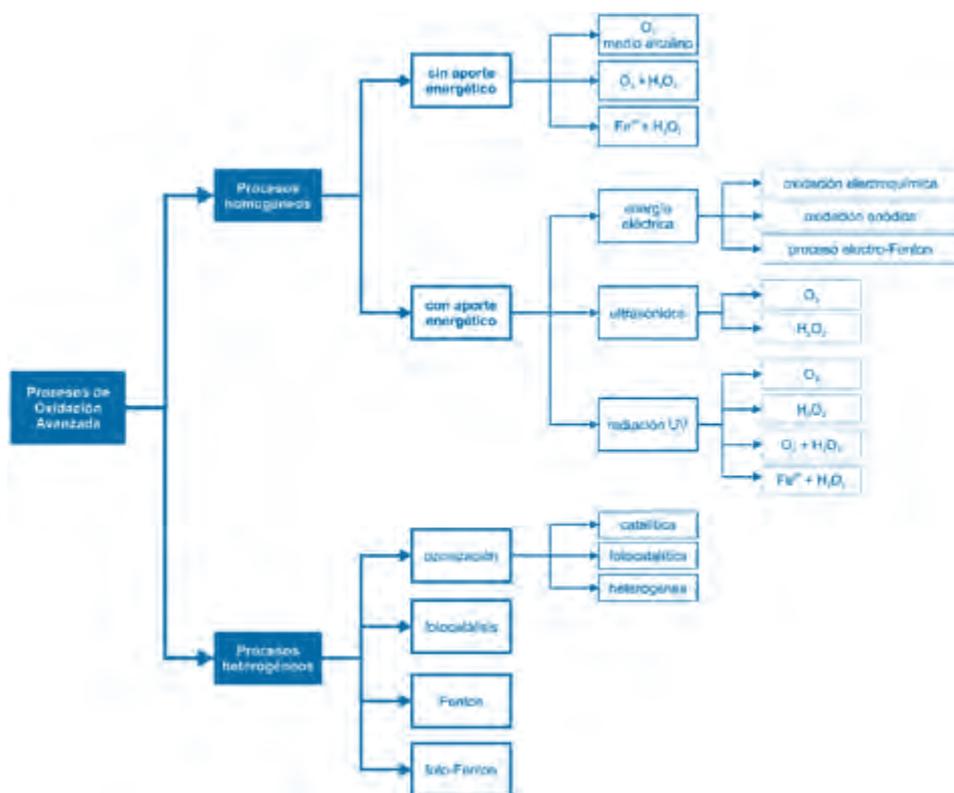


Figura 4. Clasificación de los procesos de oxidación avanzada (adaptado de Rodríguez et al., 2012).

La referencia a esta alternativa de tratamiento viene motivada por el estudio realizado por el Grupo de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad Rey Juan Carlos. En dicho estudio se evaluó la eficacia de dos procesos heterogéneos para tratar el efluente de una estación depuradora de agua residuales con el fin de eliminar los contaminantes emergentes (fármacos, productos de cuidado personal, etc.). Para ello se seleccionaron 10 de los contaminantes de mayor concentración. Los resultados se muestran la tabla 2.

Tabla 2. Características principales del efluente de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) antes y después de los tratamientos heterogéneos tipo Fenton (tomado Molina et al., 2013).

			Sin tratar	Con tratamiento foto-Fenton	Con tratamiento sono-Fenton
Propiedades físico-químicas	COT (mg/L)		24	6	11
	H ₂ O ₂ residual(mg/L)		—	10	100
	Temperatura (°C)		22	30	22
Fármacos mayoritarios (ng/L)	Antipiréticos	4-AAA	11.200	<49,9	<49,9
		4-FAA	2.845	<16,8	<16,8
	Analgésicos y antiinflamatorios	Diclofenaco	1.283	<0,6	<0,6
		Codeína	830	<5,1	<5,1
		Ketoprofeno	694	<52,7	<52,7
	β-bloqueantes	Ácido fenofibrico	13.802	<3,8	<3,8
		Atenolol	1.721	<3,0	<3,0
	Anticonvulsivos	Carbamazepina	195	<0,6	<0,6
	Reguladores lípidos	Gemfibrozil	13.045	<0,1	<0,1
	Diuréticos	Hidroclorotiazida	3.776	<1,3	<1,3
Antibióticos	Sulfametoxazol	302	<7,6	<7,6	
	Cefotaxime	406	<28,4	<28,4	
Estimulantes	Nicotina	376	<36,0	<36,0	
Antiácidos	Ranitidina	1.494	<76,0	<76,0	

5. Responsabilidad social corporativa y desarrollo sostenible en la actividad farmacéutica

Confluyendo tantos actores y con tan diversas visiones no es sorprendente que la actividad de la industria farmacéutica sea objeto de controversias que se manifiestan en múltiples ámbitos incluyendo los medios de comunicación. Un estudio que analizaba las informaciones sobre la industria farmacéutica aparecidas en la prensa escrita en EE UU, desde octubre del 2003 a septiembre de 2004, señalaba que el 57,1 % fueron negativos, el 24,8 % positivos y el resto neutros. Los temas objeto del contenido de esos artículos eran prioritariamente los precios, la publicación de datos sobre ensayos clínicos fallidos, y el conflicto sobre la necesidad de facilitar la importación de fármacos desde países en que son más baratos.

Algunos de los temas objeto de polémica y que arrojan sombras en la imagen del sector guardan relación con litigios en torno a la propiedad intelectual sobre los medicamentos, debate que adquiere connotaciones más radicales en casos como las excepciones respecto a las “licencias extraordinarias” para la explotación de genéricos a países necesitados, ha sido muy criticada por ONG y productores de genéricos por su excesiva complejidad en el procedimiento.

Los actores que participan en el debate abierto proceden de ámbitos en los que confluyen grupos con posiciones discrepantes sobre los modelos económicos globales preponderantes y organizaciones sin ánimo de lucro y fundaciones específicamente orientadas hacia la problemática sanitaria. En ocasiones también, y en ese caso los grupos citados se ven respaldados en sus denuncias, son personas anteriormente vinculadas profesionalmente al sector farmacéutico quienes critican sus prácticas. Causó en su día gran impacto el contenido del libro “El gran secreto de la industria farmacéutica” cuyo autor

Philippe Pignarre había trabajado como ejecutivo en el sector. Sus críticas decían que el esfuerzo investigador y su costo, principales argumentos para defender las patentes de medicamentos, era inferior al manifestado pues en muchos casos más que el desarrollo de nuevos productos se trataba de versiones modificadas de los mismos y otros autores en su línea hablan que no hay una innovación real, que la colaboración con las universidades no es equitativa en cuanto a las ventajas económicas de las patentes y la utilización que hacen en las investigaciones de recursos públicos.

En suma, que la imagen del sector farmacéutico que se presenta desde este lado del debate es que su objetivo no es otro que el mayor beneficio económico posible y en consecuencia se centran en los mercados más rentables ignorando el de los sectores más desfavorecidos. Se critica que el precio de los medicamentos es inasumible por ellos, que dificultan la elaboración de genéricos contra el SIDA en zonas de enorme incidencia como Sudáfrica.

Como se señalaba al principio de este apartado, salvando algunos matices específicos del sector y desde luego el hecho fundamental de estar relacionado con algo tan sensible como la salud de las personas, muchos de los aspectos del debate son comunes a los habidos frente a las compañías energéticas, gestoras del ciclo integral urbano del agua o grandes constructoras. Es por supuesto legítimo por un lado defender modelos económicos alternativos al imperante en la mayoría de los países, pero no es ético hacerlo con argumentos faltos de rigor o incluso falaces. Del otro lado del debate los argumentos y estrategias utilizados para enfrentar las críticas no siempre han sido transparentes o han pecado de planteamientos cargados de grandilocuencia de marketing. Si ambas posturas se conducen por ese camino el perdedor, y no se trata de minucias, será sin duda el conjunto de la sociedad. Y una referencia reciente que es oportuno citar por ser muy relevante es el manifiesto firmado por 109 premios Nobel que hacen “un llamamiento a los gobiernos del mundo para que rechacen la campaña de Greenpeace contra el arroz dorado, en particular, y contra los cultivos y alimentos mejorados mediante biotecnología en general”, continúan los científicos. “Hay que detener la oposición basada en emociones y dogmas, en contradicción con los datos”, a la par que acusan a Greenpeace, y al resto de organizaciones antitransgénicos, de tergiversar los riesgos, beneficios e impactos de los organismos modificados genéticamente y de apoyar la destrucción criminal de cultivos de experimentación.

Como señala el profesor Domènec Melé es necesario buscar un diálogo constructivo entre las partes implicadas que atienda el derecho a la salud sin

atacar de manera simplista los incentivos económicos de la industria. Puede parecer una opinión cargada de voluntarismo e incluso de ingenuidad pero es la base del concepto de Responsabilidad Social Corporativa. En realidad las primeras referencias en el ámbito de la gestión corporativa a este concepto fueron totalmente diferentes desde el punto de vista conceptual al enfoque actual. Para Friedman en 1970 la responsabilidad de los corporativos en una empresa era “hacer tanto dinero como fuese posible para los accionistas”, y salirse de ello socavaría los fundamentos de la sociedad. Hoy, sin obviar los objetivos económicos, en el Libro Verde la Comisión Europea considera que la mayoría de las definiciones de la responsabilidad social de las empresas entienden este concepto como la integración voluntaria, por parte de las empresas, de las preocupaciones sociales y medioambientales en sus operaciones comerciales y sus relaciones con sus interlocutores.

En su intervención ante el Foro Económico Mundial en 1999 Kofi Annan, siendo Secretario General de las Naciones Unidas, hizo una primera propuesta de lo que pasó a conocerse como Pacto Mundial de Naciones Unidas y cuyos objetivos quedan bien claros en estas palabras pronunciadas en el evento “Optemos por sumar la fuerza de los mercados a la autoridad de los ideales universales. Optemos por conciliar la energía creativa de la empresa privada con las necesidades de los más desfavorecidos y las exigencias de las generaciones futuras”. Puede considerarse que esta iniciativa que comenzó a tomar forma en una reunión en la sede neoyorkina de las Naciones Unidas el 26 de julio de 2000 con líderes de las principales empresas mundiales y otros agentes sociales, sentó las bases de la Responsabilidad Social Corporativa (RSC) para el impulso de un marco de colaboración entre estas, los organismos de las Naciones Unidas, las organizaciones laborales y la sociedad civil en el camino hacia una economía mundial más sostenible e inclusiva.

El Pacto Mundial formula unos principios para que sean incorporados a la estrategia corporativa de las empresas en un contexto participativo y colaborativo entre los agentes sociales y las instituciones y por ello no es un instrumento normativo en el que se realicen funciones de vigilancia, imposición de criterios o establezcan ratios de valoración del comportamiento empresarial. Dando un paso más ambicioso y pragmático que el bienintencionado deseo del profesor Melé pretende se fundamentarse en la responsabilidad pública, en la transparencia y en la sana defensa de los propios intereses de las empresas, las organizaciones laborales y la sociedad civil para el logro de los principios del Pacto Mundial. No obstante para ayudar a que ese camino sea eficaz en sus logros y no se tergiverse su uso e interpretación con fines

propagandísticos se han desarrollado guías metodológicas e incluso procedimientos de certificación relativos a la elaboración de memorias relacionadas con la aplicación de los principios en las empresas.

Las Naciones Unidas han constituido una red a la que apoyan técnicamente por medio de la Oficina del Pacto Mundial que cuenta con el apoyo de seis organismos de las Naciones Unidas: la Oficina del Alto Comisionado para los Derechos Humanos; el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente; la Organización Internacional del Trabajo; el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo; la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial; y la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito.

La participación activa de estas agencias tiene su razón en los principios que fundamentan el Pacto Mundial:

- La Declaración Universal de Derechos Humanos
- La Declaración de Principios de la Organización Internacional del Trabajo relativa a los derechos fundamentales en el trabajo
- La Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo
- La Convención de las Naciones Unidas contra la Corrupción

A partir de las esencias de estas declaraciones el compromiso que adquieren quienes se adhieran al Pacto Mundial son los recogidos en la tabla 3.

Las nuevas oportunidades que ofrecen los avances científicos y sus aplicaciones tecnológicas entrañan también potenciales riesgos para la sostenibilidad y el desafío está en conseguir que esos mismos medios junto con avances en la gestión y en las políticas públicas sirvan para evitarlos y brinden a las empresas nuevas posibilidades respecto al compromiso con el desarrollo sostenible de sus operaciones, productos, servicios y demás actividades.

Tras lanzarse el Pacto Mundial quedó claro que era necesario un marco internacional común a nivel mundial, con un lenguaje uniforme y unos parámetros comunes que sirvieran para comunicar de una forma clara y transparente las cuestiones relacionadas con la sostenibilidad. La transparencia de la información sobre esta es fundamental en la relación con los agentes sociales, los inversores y los mercados. La *Global Reporting Initiative* (GRI) surgió para responder a esa necesidad, fue fundada en Boston en 1997 bajo el auspicio de organizaciones sin ánimo de lucro como de la Coalición de Economías Ambientalmente Responsables de EE UU (CERES) y el Insti-

Tabla 3. Compromisos adquiridos con el Pacto Mundial de Naciones Unidas en 1999.

Compromiso	Principios
Derechos Humanos	<i>Principio 1:</i> Las empresas deben apoyar y respetar la protección de los derechos humanos fundamentales internacionalmente reconocidos dentro de su ámbito de influencia; <i>Principio 2:</i> Deben asegurarse de no ser cómplices en la vulneración de los derechos humanos.
Relaciones laborales	<i>Principio 3:</i> Las empresas deben apoyar la libertad de afiliación y el reconocimiento efectivo del derecho a la negociación colectiva; <i>Principio 4:</i> La eliminación de toda forma de trabajo forzoso o realizado bajo coacción; <i>Principio 5:</i> La erradicación del trabajo infantil; <i>Principio 6:</i> La abolición de las prácticas de discriminación en el empleo y la ocupación.
Medio ambiente	<i>Principio 7:</i> Las empresas deben mantener un enfoque preventivo orientado al desafío de la protección medioambiental; <i>Principio 8:</i> Adoptar iniciativas que promuevan una mayor responsabilidad ambiental; <i>Principio 9:</i> Favorecer el desarrollo y la difusión de tecnologías respetuosas con el medio ambiente.
Lucha contra la corrupción	<i>Principio 10:</i> Las empresas deben luchar contra la corrupción en todas sus formas, incluidas la extorsión y el soborno.

tuto Tellus de Brasil. Su trabajo se centra en desarrollar guías metodológicas fiables y creíbles para elaborar Memorias de Sostenibilidad en el marco de la Responsabilidad Social Corporativa. Finalmente han confluído como marcos internacionales para fortalecer las estrategias de información, medición y gestión en materia de desarrollo sostenible el Pacto Mundial de Naciones Unidas, la norma ISO 26000 y la GRI.

Los principios universales en los cuales se basa el Pacto Mundial se han convertido en la referencia de las otras dos iniciativas consolidándose la cooperación entre ellas con acuerdos:

- Un Memorando de entendimiento entre Pacto Mundial y GRI para integrar los 10 Principios del Pacto Mundial en su Guía de Memorias de Sostenibilidad, mientras que el Pacto adoptó la guía como marco recomendado para la Comunicación sobre el Progreso (COP) de sus adherentes.
- Un Memorando de entendimiento entre la Organización Internacional de Normalización (ISO) y el Pacto Mundial con el propósito de fo-

mentar la cooperación y el apoyo mutuo. Cabe recordar que la norma ISO 26000 reconoció la relevancia del Pacto Mundial e incluye los 10 Principios en su metodología.

En virtud de esos acuerdos los 10 principios del Pacto Mundial constituyen el compromiso de responsabilidad en la estrategia corporativa de las empresas adheridas al pacto, la norma ISO 26000 es la guía para la gestión de la RSC, y las Directrices para la elaboración de memorias de sostenibilidad de la GRI, proveen un medio para medir el avance y comunicar el desempeño.

Como punto de partida se toma el marco general que ofrecen los 10 Principios del Pacto Mundial, considerando cuatro líneas temáticas: derechos humanos, estándares laborales, medio ambiente y anticorrupción. La norma ISO 26000 indica la hoja de ruta de la gestión e implementación de la RSC para gestionar e implementar: rendición de cuentas, transparencia, comportamiento ético, respeto por los intereses de las partes interesadas, respeto por el principio de legalidad, respeto a la normativa internacional de comportamiento y respeto a los derechos humanos. Se consideran en relación con las Líneas Temáticas del Pacto Mundial: derechos humanos, prácticas laborales, medio ambiente, prácticas justas de operación, asuntos de consumidores, y participación activa y desarrollo de la comunidad desglosadas en asuntos. Y el seguimiento y monitoreo utiliza la metodología GRI a través de su sistema de indicadores: los *General Standard Disclosures* (GSD) con la información general de la organización y los *Specific Standard Disclosures* (SSD) que se refieren a las categorías de desempeño: económico, social y ambiental, y sus subcategorías.

La Fundación para la Investigación de la Salud realiza periódicamente informes sobre “La RSC en la Industria Farmacéutica”, que constatan que el 100 % de las empresas del sector realizan acciones de RSC pero que la manera en que se informa de ellas a los agentes sociales y al personal propio es en general deficiente. Hay datos muy positivos como que el 100 % de los laboratorios farmacéuticos tienen definida una misión, visión y valores corporativos, consecuentes con su compromiso con la responsabilidad empresarial y el desarrollo sostenible pero con la rémora de que sólo el 52 % tienen una política que recoja explícitamente los principios de la RSC o que apenas la mitad hayan constituido un comité de sostenibilidad. También se percibe que a la hora de identificar los *stakeholders* hay una clara orientación hacia los sectores más implicados profesionalmente en detrimento del contacto con ONGs, grupos activistas y opinión pública en general.

Volviendo al comienzo de lo expuesto en este apartado es utópico suponer que se puedan evitar los movimientos críticos hacia la actividad de la industria farmacéutica sobre todo cuando forman parte de estrategias más amplias en contra de modelos de desarrollo y de sistemas políticos, pero el sector ha de utilizar con mayor rigor y eficacia las herramientas de información y participación ciudadana acerca de las estrategias corporativas socialmente responsables.

Tras haber analizado en la primera parte de este trabajo la relación de dependencia entre diversidad biológica y disponibilidad de medicamentos para mejorar la salud de animales y personas, y como la crisis de la misma, ligada a impactos de origen antropogénico, afecta a este recurso decisivo se aborda cuáles son las herramientas con las que el sector farmacéutico puede guiar su compromiso con el desarrollo sostenible, único camino para alcanzar el éxito en la Conservación de la Diversidad Biológica, cómo se han de utilizar con rigor sin caer en el error de que sean meras declaraciones de intenciones, y en qué manera puede demostrarse ante los agentes sociales ese compromiso.

El análisis se hace sobre el uso, y el mal uso, de algunos instrumentos que se presentan con frecuencia en el “marketing de la sostenibilidad corporativa” como es el caso de la Huella Ecológica; las características y utilidad de la Huella de Carbono; para finalizar con una descripción extensa de los fundamentos y metodología del Análisis de Ciclo de Vida. La mayor amplitud que se le dedica a esta herramienta la consideramos justificada por su gran potencial para evaluar la incidencia de productos o procesos en categorías de impacto que representan de forma más exhaustiva las amenazas para la Conservación de la Diversidad Biológica: destrucción de capa de ozono, acidificación, calentamiento global, toxicidad. Su uso es hoy muy limitado en la industria farmacéutica y, como se explicará, aporta información para elaborar de forma rigurosa indicadores ambientales en las Memorias de Sostenibilidad.

5.1. Huella ecológica corporativa en la industria farmacéutica

En 2010 hubo una reunión de líderes mundiales en Nagoya para revisar los objetivos del Convenio para la Conservación de la Diversidad Biológica, evaluar el grado en que se venían cumpliendo, y establecer nuevos indicadores. Las conclusiones fueron un tanto decepcionantes y, reconociendo las medidas de todo tipo adoptadas, se asume que aún son necesarias más me-

didas políticas y que algunas de las aplicadas no se implementan de manera adecuada. Uno de los problemas identificados fue que no existe un sistema internacional estandarizado de monitoreo de diversidad biológica que no es cuestión sencilla por su propia complejidad y la de los procesos que la atañen. Se formularon así los objetivos de Aichi con un sistema de 100 indicadores que guardan relación con los cinco objetivos estratégicos aprobados y dirigidos fundamentalmente hacia la cuantificación de las causas subyacentes de pérdida de la diversidad biológica para identificar medidas adoptar desde las instituciones, empresas y agentes sociales en general.

Se han propuesto en ciertos trabajos de investigación los denominados valores esenciales para la biodiversidad y en relación con ellos cinco parámetros seleccionados: huella ecológica, la deposición de nitrógeno, especies exóticas, sobreexplotación piscícola y el impacto sobre el clima. Los esfuerzos realizados para frenar la pérdida de diversidad biológica han estado orientados fundamentalmente hacia la declaración de zonas y especies protegidas pero el análisis de logros evidencia que puede no ser suficiente y que es necesario mejorar la medición y seguimiento de aquellas presiones de origen antropogénico que conducen a una pérdida de diversidad biológica.

Inspirado en el ya comentado estudio “Los límites del crecimiento” de Meadows surgió el concepto de capacidad de carga, desarrollado por Mathis Wackernagel, consistente en determinar cuántos miembros de una especie en concreto puede soportar un hábitat determinado sin sufrir un impacto negativo significativo. El desarrollo del concepto por parte de este investigador junto con William E. Rees pronto permitió vislumbrar su gran potencial como herramienta para cuantificar las condiciones de equilibrio relativo entre la demanda de servicios de la diversidad biológica y la capacidad de los ecosistemas para producirlos. De la aplicación del concepto a un ecosistema específico se dirigió la atención a su uso para el conjunto de la biosfera y así ambos investigadores se formularon como reto de su investigación determinar qué cantidad de área superficie sería necesaria para soportar la población actual con los patrones de consumo y medios tecnológicos actuales. Introdujeron el concepto de “capacidad apropiada de carga” rápidamente bautizado como Huella Ecológica y concebida como un indicador integrado que muestra el impacto que genera una comunidad humana sobre su entorno. Como indicador permite pasar del uso de un concepto como el desarrollo sostenible que corre el riesgo de un uso ambiguo y en ocasiones oportunista a su cuantificación como meta mensurable y referencia sobre los progresos reales en aproximarse a aquel objetivo.

En su presentación científica del concepto Wackernagel y Rees dieron como primera definición de Huella Ecológica “la superficie terrestre productiva (o el ecosistema acuático) necesaria para mantener el consumo de recursos y energía, así como para poder absorber los residuos producidos por una determinada población humana o economía, empleando la tecnología habitualmente utilizada, independientemente de donde esté situada la superficie”.

El auge en el uso de la herramienta dio lugar a la constitución de la *Global Footprints Network* que, de acuerdo con sus creadores, adaptaron la definición incluyendo su campo de aplicación a individuos, poblaciones o actividades con el propósito de su uso respecto de productos o incluso corporaciones y de hecho se conocen intentos en este sentido a nuestro juicio poco afortunados.

En su desarrollo teórico se asume como punto de partida que tanto el consumo de recursos como la generación de residuos pueden ser convertidos en la superficie productiva necesaria incluye sólo la superficie biológicamente productiva para uso humano, excluyendo, por ejemplo, desiertos y polos. No incluye áreas no productivas, áreas marginales con vegetación no distribuida homogéneamente, ni biomasa que no es usada por los humanos.

Considera varias subhuellas, generalmente seis:

- Cultivos: aquella superficie en la que los humanos desarrollan actividades agrícolas, suministrando productos como alimentos, fibra, aceites, entre otros.
- Pastos: área dedicada a pastos, de donde se obtienen determinados productos animales como carne, leche, cueros y lana.
- Bosques: la superficie ocupada por los bosques, de donde, principalmente se obtienen productos derivados de la madera, empleados en la producción de bienes, o combustibles como leña.
- Mar: la superficie marítima biológicamente productiva aprovechada por los humanos para obtener pescado.
- Superficie construida: área ocupada por edificios, embalses y otros tipos de infraestructuras, por lo que no es biológicamente productiva.
- Energía: al área de bosque necesaria para absorber las emisiones de CO₂ procedentes de la quema de combustibles fósiles.

El cálculo de la huella ecológica se basa en estos supuestos básicos:

- Es posible contabilizar la mayor parte de los bienes consumidos y de los residuos generados.
- Los flujos de recursos y residuos se pueden transformar en la superficie biológicamente productiva necesaria para mantener esos flujos. Se omite en el cálculo de la huella aquellos flujos que no pueden contabilizarse en superficie.
- Se debe ponderar las áreas obtenidas en relación con su productividad, obteniendo superficies estandarizadas, denominadas hectáreas globales, que representan superficies con productividad media mundial.

Los indicadores concretos utilizados son uno por el lado de la demanda en que la Huella Ecológica mide la superficie de tierra y mar biológicamente productivas que requiere una determinada población para cubrir sus necesidades de recursos y de servicios de los ecosistemas y por el lado de la oferta la biocapacidad que incluye en países, regiones o a nivel global la capacidad para producir recursos y servicios de los ecosistemas. Uno y otro indicador se expresan en una unidad global comparable y estandarizada llamada “hectárea global” que es una hectárea de superficie terrestre o marítima biológicamente productiva con bioproductividad promedio mundial en un año determinado.

Su fórmula viene dada por:

$$EF_C = EF_P + EF_I - EF_E$$

donde :

EF_C es la Huella Ecológica de consumo.

EF_P es la Huella Ecológica de producción.

EF_I y EF_E respectivamente la huella implícita en el flujo de productos importados y exportados.

A su vez la Huella Ecológica de cada producto i se calcula con la fórmula:

$$EF = \frac{P_i}{Y_{w,i}} EDF_i$$

siendo:

P_i cantidad utilizada del producto o CO_2 emitido.

$Y_{w,i}$ promedio de producción anual por año del producto i , o capacidad de captura de CO_2 .

EQF_i factor de equivalencia para la producción del producto i según tipo de tierra.

Por último, la biocapacidad se determina por:

$$BC = \sum_i A_{N,i} \cdot YF_{N,i} \cdot EQF_i$$

siendo $A_{N,i}$ el área productiva disponible a nivel nacional para el producto i .

Dado que estas superficies representan usos excluyentes entre sí, y que cada hectárea normalizada representa la misma productividad, estas superficies se pueden agregar obteniendo una demanda total humana.

La demanda que la sociedad hace de servicios de los ecosistemas está en el origen de las principales amenazas antropogénicas directas a la biodiversidad, que pueden sintetizarse en estas:

- La pérdida de hábitats por cambios o fragmentación relacionados con la agricultura, silvicultura e infraestructuras.
- La sobreexplotación de recursos con demandas de servicios de los ecosistemas por encima de su capacidad de regeneración.
- La contaminación.
- La propagación de especies invasoras.
- El cambio climático.

Todas esas amenazas lo son en función de la incidencia que esas presiones hacen sobre los hábitats, su estructura, su composición, fragmentando los hábitats, reduciendo su diversidad genética, contribuyendo a la pérdida de diversidad biológica. La Huella Ecológica es un indicador que enfrenta la biocapacidad de los ecosistemas con la demanda que sobre ellos se ejerce y el resultado de ese balance es una medida de la tendencia de pérdida de diversidad biológica.

La actividad económica humana demanda de la biosfera recursos en forma de alimentos, agua, energía y materias primas. Pueden ser consideradas en términos de la producción y el consumo de productos agrícolas, carne y productos lácteos, pescados y mariscos, madera y papel, la energía, el transporte y ocupación de territorio para pueblos, ciudades e infraestructura, y todos son incluidos como *inputs* para el cálculo de la Huella Ecológica. Cuando la actividad pesquera sobrepasa las tasas de recuperación los recursos pesqueros entran en colapso, cuando se talan los bosques con mayor rapidez que la de su reproducción la deforestación avanza y si se emite más CO_2 que lo que puede absorber la biosfera el CO_2 se acumula en la atmósfera y contribuye

al calentamiento global. El exceso en esa demanda de servicios de los ecosistemas contribuye a un déficit ecológico que se ve acentuado por efectos sinérgicos negativos como por ejemplo que la disminución de la superficie de bosques a su vez incide en la capacidad de absorción de CO₂.

En función de la carga de esa demanda se fragmentan ecosistemas, se supera el umbral crítico de supervivencia de especies y otros impactos traducidos en una pérdida de diversidad biológica que puede cuantificarse con diferentes indicadores, en general en gran número y de difícil interpretación para quien no sea un especialista.

La Huella Ecológica es un indicador integrador y global desde el punto de vista espacial que presta su principal servicio como manera de informar cualitativamente de la situación respecto de los objetivos del Convenio de Conservación de la Diversidad Biológica.

En principio, y precisamente en desacoplar esa relación radica una de las mejores medidas para la conservación de la diversidad biológica, el crecimiento del PIB implica una mayor demanda de servicios de los ecosistemas, una mayor presión sobre ellos, y eso ha llevado a que en algún caso se propusiera el incremento del PIB como una alternativa a la huella Ecológica como indicador. Hay muchos argumentos que descalifican esa propuesta como que cada valor monetario guarda una relación muy diferente con la demanda sobre la biocapacidad, que no ofrece información sobre el límite de sostenibilidad y no permite, como hace la Huella Ecológica, conocer los principales puntos de acceso de las presiones humanas sobre los ecosistemas.

Los intentos anteriormente comentados de utilizar una herramienta de Huella Ecológica Corporativa, en el marco de los informes de Responsabilidad Social Corporativa, como indicador del nivel de compromiso con el desarrollo sostenible se explican más como un intento de aprovechar la buena acogida y frecuente referencia de la Huella Ecológica en el ámbito de grupos ecologistas, así como una oportunidad de nuevas publicaciones para investigadores, que en una base metodológica adecuadamente fundada. Los mismos argumentos que descalifican el uso del PIB como indicador sirven en este caso, ya que además de problemas de doble contabilidad se atribuye en ocasiones un valor de Huella Ecológica no sostenible a la actividad de una empresa que no guarda relación con su compromiso y buenas prácticas de sostenibilidad. Pongamos el caso de una constructora que desarrolla infraestructura con alto consumo de materias primas como el cemento que

aplicando la metodología de cálculo le otorgaría un alto valor a su Huella Ecológica Corporativa. En realidad esa huella hay que atribuírsela al país, a la sociedad de éste, que planifica y usa dicha infraestructura dentro de un modelo de desarrollo propuesto por los políticos que la representa. Lo mismo sucede en el caso de un laboratorio farmacéutico que consuma materias primas y energía para la producción de compuestos de uso médico. Además de no ser un indicador que sirva de referencia global de las prácticas de sostenibilidad de la empresa tampoco ofrece información que permita conocer cómo mejorar estas. Hay otras herramientas de gestión ambiental de mayor representatividad y utilidad como la Huella de Carbono y el Análisis de Ciclo de Vida.

La industria farmacéutica debe basar su estrategia corporativa de mejora de sus prácticas de sostenibilidad y la información que proporcione en los instrumentos citados en el párrafo anterior. Su uso de la Huella Ecológica debiera referirse al caso donde tiene verdadero que tiene sentido a nivel nacional y regional, siendo adecuada para sensibilizar a sus clientes y empleados en el problema global de la pérdida de diversidad biológica y en sus relaciones con comunidades locales proveedoras de recursos genéticos cooperando con ellas ayudando a desarrollar sus propios cálculos de Huella Ecológica como instrumento de gestión de la conservación de la diversidad biológica.

5.2. Huella de carbono corporativa

El cambio climático representa a nivel corporativo en general la categoría de impacto que ofrece un panorama más amenazante sobre la sostenibilidad de su futuro y también la que más oportunidades ofrece de aplicar una estrategia de responsabilidad social corporativa que incluya acciones concretas que demuestren su compromiso de contribuir a reducir, mitigar y adaptarse a sus efectos. En el caso de la actividad farmacéutica además de las consecuencias comunes que sobre todas las actividades económicas tiene el calentamiento global hay algunas específicas vinculadas a la mayor dependencia del sector de la diversidad biológica. Por otra parte la gestión del carbono en todo el ciclo de la actividad presenta un favorable campo para demostrar ante los agentes sociales la consistencia de su estrategia de responsabilidad social corporativa como forma tangible de contrarrestar otras críticas en aspectos en que la polémica no permite situarla en términos de objetividad y desapasionamiento.

La gestión corporativa del carbono tiene como objetivo final identificar posibles acciones que reduzcan sus emisiones de gases de efecto invernadero e informar de manera objetiva respecto de su importancia a los agentes sociales. Ello requiere establecer una metodología adecuada para su identificación y cuantificación que se reflejará en un indicador acorde con la elección realizada. La Huella de Carbono mide la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos, directa o indirectamente, en la actividad desarrollada por un individuo, en la fabricación de un producto, en la celebración de un evento o en el conjunto de actividades desarrolladas por una organización en cuyo caso recibe el nombre de Huella de Carbono Corporativa. La unidad de medida es la Tonelada de CO₂ equivalente (T CO₂e) y engloba a todos los demás gases que contribuyan al cambio climático para lo cual las cantidades de estos emitidas son transformadas con el factor de equivalencia correspondiente que es conocido como *Global Warming Potential* (GWP) y cuyo coeficiente es función de su tiempo de retención en la atmósfera y su capacidad de absorber radiación térmica.

Como herramienta de gestión ambiental la Huella de Carbono sirve para la reducción de emisiones de CO₂ en productos y organizaciones en el marco de la mitigación del cambio climático; contribuye a la creación de un mercado de productos y servicios de bajo carbono que da respuesta a la demanda social actual; permite identificar oportunidades de ahorro de costes en las organizaciones y en el caso de organizaciones permite demostrar ante terceros los compromisos de la organización con la responsabilidad social a través de sus acciones en mitigación del cambio climático.

AENOR especifica aún más los motivos de interés para utilizar esta herramienta:

- Permitir definir mejor los objetivos, políticas de reducción de emisiones más efectivas e iniciativas de ahorro de costes mejor dirigidas.
- Reducir emisiones de GEI.
- Identificar oportunidades de ahorro de costes.
- Incorporar el impacto de emisiones en los procesos de selección de proveedores, materiales, diseño de producto, etc.
- Demostrar a terceros los compromisos de responsabilidad empresarial y medioambiental.
- Ayudar a terceros a completar sus huellas de carbono.

- Satisfacer las exigencias de clientes con conciencia ecológica.
- Aprovechar el “saber hacer” interno de las organizaciones. Estableciendo la interacción de la I+D+i con otros departamentos o divisiones de la organización.
- Realizar el análisis, mejora continua y correcta medición de los resultados de sus compromisos de reducción.

Existen diferentes normas o criterios de referencia en cuanto a la metodología para el cálculo en general de la Huella de Carbono, además de las recomendaciones específicas para el caso de la Huella de Carbono Corporativa. Ejemplos son:

- PAS 2050 (BSI/DEFRA/CarbonTrust-UK). Basada en la metodología de Análisis del Ciclo de Vida (norma ISO 14004 y 14044: 2006) y en la norma de ecoetiquetado (ISO 14021)
- PAS 2060 (BSI). Especificaciones para la demostración de la neutralidad del carbono en organizaciones
- “*GHG Protocol*” (*Corporate Accounting and Reporting Standard*). Protocolo internacional elaborado por el WRI/WBCSD, para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero en el que posteriormente se basó la ISO 14064.
- ISO 14067 partes 1 y 2. Huella de Carbono de productos.
- ISO 14069. Huella de Carbono de las organizaciones. Cálculo y comunicación.

Al tiempo existen recomendaciones de referencia para la comunicación de la Huella Carbono según se trate de etiquetas y declaraciones ambientales, autodeclaraciones medioambientales (Etiquetas Ecológicas Tipo II), etiquetas ecológicas de certificación por un organismo externo (Etiquetas Ecológicas Tipo I), declaraciones y etiquetaje ambiental cuantificado (Etiquetas Ecológicas Tipo III) o comunicación de huella de carbono.

Cuando se decide realizar la Huella de Carbono Corporativa en una organización se debe de tener claro y definido qué objetivo se persigue con su cálculo que puede variar desde cumplir los requisitos para la redacción de los informes precisos para participar en programas voluntarios u obligatorios de gases de efecto invernadero hasta exclusivamente lo necesario para

la Memoria de Sostenibilidad en el marco de la política de Responsabilidad Social Corporativa. Tener claros esos posibles objetivos permite proceder con coherencia en la fase de recopilación de datos, empleando los medios precisos pero sin costos innecesarios y cumplir los requisitos que puedan exigirse caso de que se pretenda certificar la Huella.

Establecidos los objetivos y asignadas las responsabilidades, con el nivel jerárquico adecuado para que sea patente el apoyo corporativo al proceso, la recopilación de datos para efectuar el inventario de GEI ha de tener el mismo rigor que cuando se realizan con objetivos de contabilidad financiera y de hecho hace imprescindible la colaboración entre diferentes aéreas, técnicas, ambientales o financieras para asegurar se dan las condiciones recogidas en la tabla 4.

Tabla 4. Principios y sus definiciones para la contabilidad e información de los GEI (*World Business Council for Sustainable Development, 2006*)

Principio	Definición
RELEVANCIA	Asegura que el inventario de GEI refleje de manera apropiada las emisiones de una empresa y que sea un elemento objetivo en la toma de decisiones tanto de usuarios internos como externos a la empresa
INTEGRIDAD	Conlleva a hacer la contabilidad y el reporte de manera íntegra, abarcando todas las fuentes de emisión de GEI y las actividades incluidas en el límite del inventario. Se debe reportar y justificar cualquier excepción a este principio general.
CONSISTENCIA	Utiliza metodologías consistentes que permitan comparaciones significativas de las emisiones a lo largo del tiempo. Documenta de manera transparente cualquier cambio en los datos, en el límite del inventario, en los métodos de cálculo o en cualquier otro factor relevante en una serie de tiempo.
TRANSPARENCIA	Atiende todas las cuestiones significativas o relevantes de manera objetiva y coherente, basada en un seguimiento de auditoría transparente. Revela todos los supuestos de importancia y hace referencias apropiadas a las metodologías de contabilidad y cálculo, al igual que a las fuentes de información utilizadas
PRECISIÓN	Asegura que la cuantificación de las emisiones de GEI no observe errores sistemáticos o desviaciones con respecto a las emisiones reales, hasta donde pueda ser evaluado, y de tal manera que la incertidumbre sea reducida en lo posible. Es necesario adquirir una precisión suficiente que permita a los usuarios tomar decisiones con una confianza razonable con respecto a la integridad de la información reportada.

En el enfoque previo del inventario de emisiones de GEI, además de seleccionar las fuentes a medir, es oportuno clasificarlas como emisiones directa, aquellas cuyas fuentes de emisión son de propiedad o están controladas por la empresa, y emisiones indirectas, que son consecuencia de las actividades de la empresa, pero cuyas fuentes de emisión son de propiedad o están bajo el control de otra (figura 5).

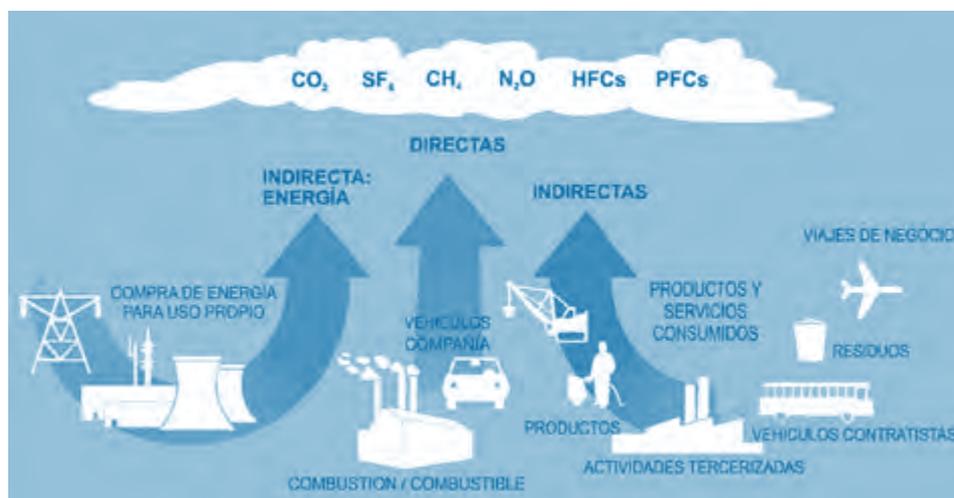


Figura 5. Fuentes y clasificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). (tomada de *World Business Council for Sustainable Development*, 2006).

Un paso más para hacer un inventario que combine representatividad y utilidad define tres niveles de alcance respecto de las fuentes emisoras de GEI (figura 6):

- **Alcance 1:** emisiones directas generadas a través de fuentes que son propiedad o están controladas por la organización.
- **Alcance 2:** emisiones indirectas procedentes de la generación de electricidad, calor/frío o vapor adquirido y consumido por la organización.
- **Alcance 3:** emisiones indirectas derivadas de la actividad desarrollada por la organización. Es decir, aunque sean necesarias para la realización de la actividad desarrollada por la organización, o como resultado de las mismas, las emisiones tienen origen en fuentes que no son de propiedad ni están bajo el control de la organización.

En función de los objetivos que se persigan con la elaboración de la Huella de Carbono se definirán los límites del sistema según los criterios metodológicos que son habituales en el Análisis de Ciclo de Vida, explicados con más detalle en un apartado posterior y que aquí se esquematizan en la figura adjunta.

El cálculo de las emisiones de GEI una vez identificadas las fuentes de emisión y sumidero, requiere decidir que metodología de cuantificación se va a emplear tras la selección y recopilación de datos de la actividad de GEI, la selección de los factores de emisión o remoción de GEI, para finalmente aplicarla y efectuar el cálculo de emisiones y remociones de GEI cuyos datos se informarán a nivel corporativo.



Figura 6. Diagrama de los alcances en el protocolo de emisión de gases de efecto invernadero a lo largo de la cadena de valor (*World Business Council for Sustainable Development, 2011*)

Para asegurar que los datos sean precisos, coherentes y reproducibles obviamente lo preferible sería la medición directa de las emisiones de GEI realizadas mediante el monitoreo en las fuentes, pero también es obvio que esta opción generalmente y por diversas causas no es posible. Para salvar esa

dificultad hay múltiples opciones como aplicar factores de emisión sobre los datos de actividad de las fuentes emisoras, modelización o lo más habitual factores de emisión bien documentados. Existen bases de datos dónde obtener esos factores de emisión y aparte de citar aquí dos de ellas (IPCC – Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático: *Emission Factor Database* (EFDB) y Defra (*Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting*)) se representa en la gráfica 7 las herramientas más comúnmente utilizadas.

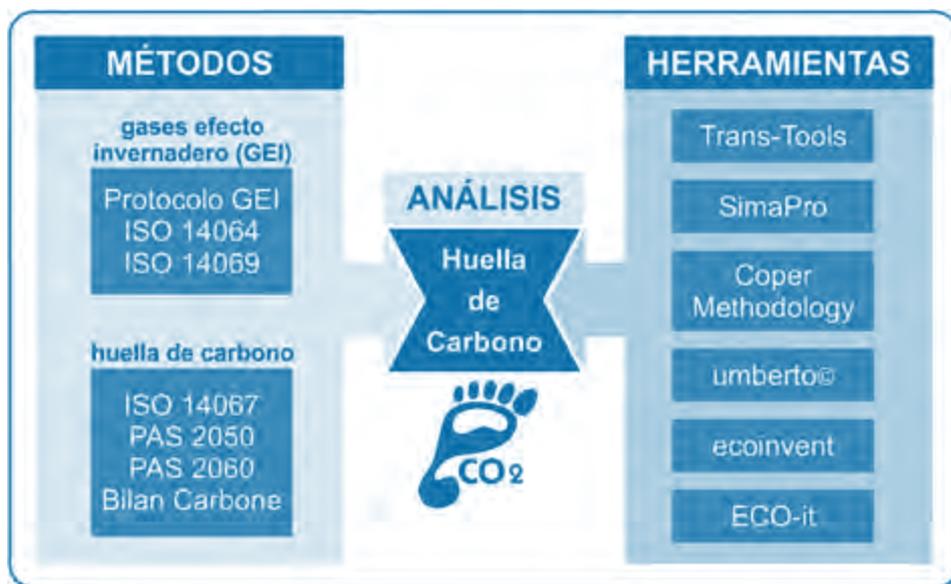


Figura 7. Relación entre los métodos y las herramientas para el cálculo y el análisis de la huella de carbono.

Nuestra opinión es que para la industria farmacéutica por la naturaleza de los productos que utiliza y produce y por la complejidad de los procesos que utiliza debe de utilizar la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida, usando bases de datos tipo de Ecoinvent y software como SIMAPRO o similar que permiten obtener dentro de la categoría de impacto “Calentamiento Global” las emisiones de GEI y por lo tanto la Huella de Carbono corporativa con una especificación de las emisiones diferenciada por etapas que permitirán una mayor información sobre el impacto en la diversidad biológica y para las medidas de mitigación.

5.3. Análisis de ciclo de vida como herramienta para el desarrollo sostenible en la industria farmacéutica

La gestión ambiental en la industria farmacéutica tiene exigencias de mayor nivel que otros sectores económicos e industriales por estar sometida al examen de grupos de opinión que de forma regular alientan campañas descalificadoras y con frecuencia muy críticas con sus políticas de responsabilidad social corporativa argumentando falta de rigor y transparencia. Partiendo del hecho cierto de que las empresas del sector asumen con determinación su compromiso con los principales retos ambientales actuales como la pérdida de diversidad biológica y el cambio climático el interés está en encontrar herramientas que posibiliten la integración de los aspectos de sostenibilidad en todas sus actividades, la medición de esos factores y la comunicación a los agentes sociales.

Existe una herramienta que cumple esos requisitos, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que permite el seguimiento y cuantificación de indicadores representativos de la sostenibilidad en toda la cadena de valor y cuya metodología está normalizada. Los impactos ambientales que es posible cuantificar son los más representativos del problema ambiental citada y especialmente relevantes para la industria farmacéutica: pérdida de diversidad, eutrofización, acidificación y toxicidad para los humanos.

El ACV es una herramienta metodológica que sirve para medir el impacto ambiental de un producto, proceso o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida (desde que se obtienen las materias primas hasta su fin de vida). El ACV solía recibir anteriormente otros nombres, tales como *ecobalances*, análisis del perfil ambiental y de recursos, análisis ambiental integral, perfiles ambientales, entre otros, y se comparaba con otras herramientas tales como evaluación del riesgo ambiental y la evaluación de impacto ambiental. Lo que hoy se conoce con el nombre de ACV fue la denominación que por fin acogió la comunidad internacional de expertos en el tema en el año 1991, acabando con la ambigüedad de términos relacionados debida a que la aplicación de la metodología que no sólo incorpora elementos objetivos sino también elementos subjetivos.

Desde los principios de esta actividad se han formulado gran cantidad de definiciones para el ACV. Así, por ejemplo, entre 1990 y 1993 la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*, SETAC) lo definió como un proceso de cuatro etapas para evaluar las cargas ambientales de un producto, proceso o actividad y que se

representan en el llamado triángulo de ACV de la SETAC (figura 8). El ACV se basa, por lo tanto, en la recopilación y análisis de las entradas y salidas del sistema para obtener unos resultados que muestren sus impactos ambientales potenciales, con el objetivo de poder determinar estrategias para la reducción de los mismos. La principal característica de esta herramienta es su enfoque holístico, es decir, que se basa en la idea de que todas las propiedades de un sistema no pueden ser determinadas o explicadas solo de manera individual por las partes que lo componen. Es necesaria la integración total de todos los aspectos que participan; de ahí el concepto de tener en cuenta todo el ciclo de vida del sistema.

Los elementos que se tienen en cuenta dentro del ACV comúnmente se conocen como *inputs / outputs* (entradas/salidas):

- **Inputs/entradas:** Uso de recursos y materias primas, partes y productos, transporte, electricidad, energía, etc., que se tienen en cuenta en cada proceso/fase del sistema.
- **Outputs/salidas:** Emisiones al aire, al agua y al suelo, así como los residuos y los subproductos que se tienen en cuenta en cada proceso/fase del sistema.



Figura 8. Esquema de las fases de que consta el ACV de acuerdo con la SETAC (tomado de Klöpffer, 1997).

La manera y forma en la que se recopilan estas entradas/salidas se conoce como Inventario de ciclo de vida (ICV), y es la fase del análisis del ciclo de vida que implica la recopilación y la cuantificación de entradas/salidas de un sistema durante su ciclo de vida. El ACV de un producto o sistema debería incluir todas las entradas/salidas de los procesos que participan a lo largo de su ciclo de vida (figura 9): la extracción de materias primas y el procesamiento de los materiales necesarios para la manufactura de componentes, el uso del producto y finalmente su reciclaje y/o la gestión final. El transporte, almacenaje, distribución y otras actividades intermedias entre las fases del ciclo de vida también se incluyen cuando tienen la relevancia suficiente. A este tipo de ciclo de vida se le denomina comúnmente “de la cuna a la tumba”.

Cuando el alcance del sistema se limita a las entradas / salidas desde que se obtienen las materias primas hasta que el producto se pone en el mercado (a la salida de la planta de fabricación/montaje), se le denomina como “de la cuna a la puerta”. Y cuando solo se tienen en cuenta las entradas/salidas del sistema productivo (procesos de fabricación), se le llama “de la puerta a la puerta”. Sin embargo, es el alcance de todo el ciclo de vida (de la cuna a la tumba) el único que nos asegura que las cargas medioambientales de una fase no se traspasan a otras fases del ciclo de vida (figura 10). Esto significa que, por ejemplo, externalizar un proceso de nuestro sistema contratando a un proveedor externo, no nos evita la contabilización de la carga ambiental asociada a ese proceso. Aunque el mismo no esté en nuestra propia planta, el concepto holístico del ACV nos obliga a tenerlo en cuenta. Un nuevo enfoque, basado en tener en cuenta que las corrientes de salida del Fin de Vida del sistema pueden ser valoradas como materias primas y/o entradas al mismo sistema o a otro, está teniendo un importante reconocimiento en los últimos años. A este tipo de enfoque en ACV se le denomina como “de la cuna a la cuna”. La suma total de entradas y salidas sienta las bases para un posterior análisis y evaluación de los efectos medioambientales relacionados con el producto (figura 11). Esta agregación de recursos y emisiones hacia daños al medio ambiente y al ser humano es lo que se denomina Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV).

5.3.1. Normalización del ACV según las normas ISO 14040

Por parte de la *International Organization for Standardization* (ISO) se ha establecido un marco para la estandarización de la metodología de ACV, según la familia de normas ISO 14040:

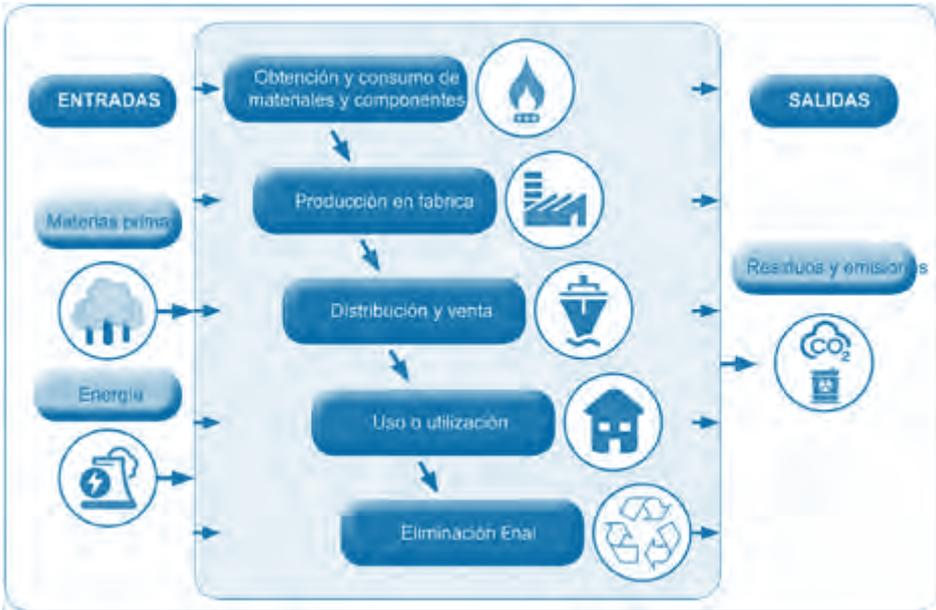


Figura 9. Concepto de Ciclo de Vida y sus fases (tomado de IHOBE, SA, 2009).



Figura 10. Terminología relacionada con el Ciclo de Vida (tomado de IHOBE, SA, 2009).

- **UNE EN ISO 14040.** Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- **UNE EN ISO 14044:2006:** Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices.

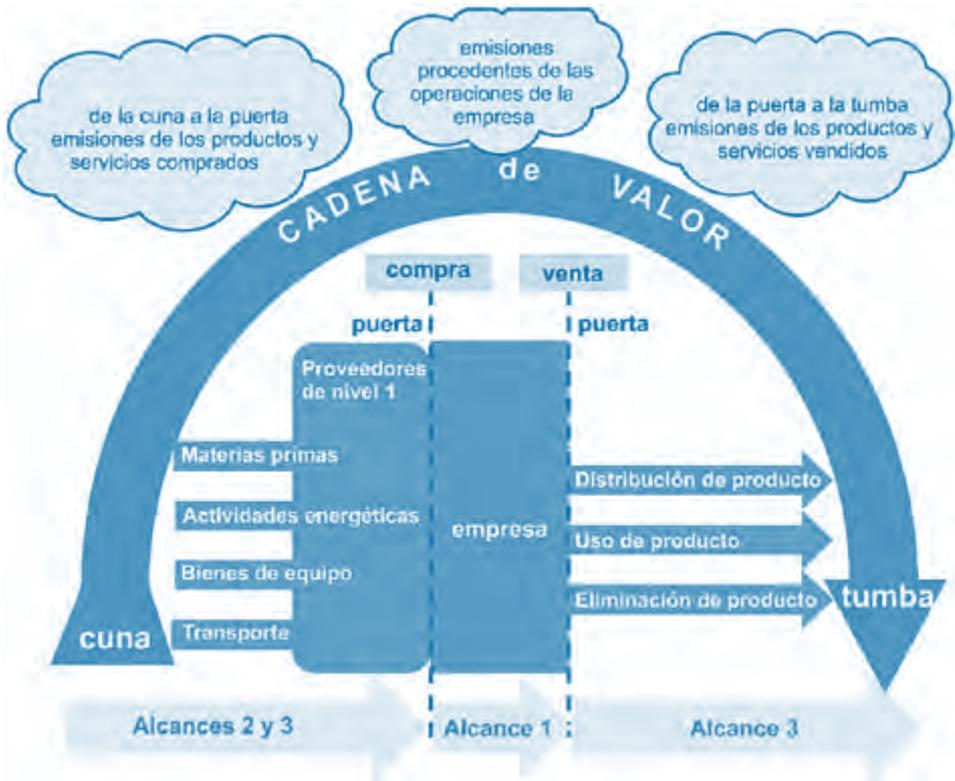


Figura 11. Diagrama para el Análisis del Ciclo de Vida, según el modelo de la cuna a la tumba, teniendo en cuenta las fuentes y los alcances en el protocolo de emisión de gases de efecto invernadero a lo largo de la cadena de valor (World Business Council for Sustainable Development, 2010).



Figura 12. Esquema de un Análisis del Ciclo de Vida según la norma ISO 14040.

De acuerdo a la estandarización realizada se distinguen cuatro fases en un estudio de ACV basado en la norma ISO 14040 (figura 12). Estas fases se describen en los apartados siguientes.

a. Definición de objetivos y alcance

Define el objetivo y el uso previsto del estudio, así como el alcance de acuerdo con los límites del sistema, la unidad funcional y los flujos dentro del ciclo de vida, la calidad exigida a los datos, y los parámetros tecnológicos y de evaluación. La unidad funcional proporciona una referencia respecto a la cual todas las entradas y salidas del sistema son normalizadas en un sentido matemático. Es preciso remarcar que un ACV no compara productos entre sí, sino servicios y/o cantidades de producto que lleven a cabo la misma función. Un ACV completo puede ser muy extenso y por esta razón se deben establecer unos límites que delimitan el sistema a estudiar y qué procesos unitarios están incluidos dentro del ACV. Los factores que determinan los límites del sistema son las hipótesis planteadas, los criterios de exclusión, los datos disponibles, las limitaciones económicas y la finalidad prevista.

b. Desarrollo del Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

Es la fase del ACV en la que se recogen los datos correspondientes a las entradas y salidas para todos los procesos del sistema de producto. En esta segunda fase se obtienen los datos y procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar los efectos ambientales adversos asociados a la unidad funcional. La carga ambiental se define como la cantidad de contaminante que llega al medio o la cantidad de recursos extraídos del mismo. En esta definición se incluyen las emisiones de gases contaminantes, los efluentes de agua, residuos sólidos, consumo de recursos naturales, ruidos, radiaciones, etc.

c. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

Es la fase del ACV en la que el inventario de entradas y salidas es traspasado a indicadores de potenciales impactos ambientales al medio ambiente, a

la salud humana y a la disponibilidad de recursos naturales. La Evaluación de Impactos del Ciclo de Vida (EICV), es la fase del ACV destinada a conocer y evaluar la magnitud y la significancia de los impactos ambientales potenciales de un sistema. En esta fase se emplea un método de evaluación para transformar los datos recogidos en el ICV en resultados de carácter ambiental. Es en definitiva la fase del ACV que caracteriza el resultado final del mismo y una de las que mayor controversia causa, ya que no existe acuerdo común en la comunidad internacional para el establecimiento de un modelo único de evaluación de impactos ambientales.

La norma UNE-EN-ISO 14040:2006 establece una serie de pasos o etapas para el ACV.

1. Clasificación: El primer paso es la selección de categorías de impacto ambiental a tener en cuenta en el estudio (tabla 5). Estas categorías representan los impactos ambientales de interés a los cuales se quieren asignar los resultados del EICV. Es decir, los impactos ambientales de los cuales se desean obtener resultados. Existen multitud de categorías de impacto ambiental, y la selección de unas u otras en el ACV que se esté llevando a cabo dependerá del objetivo del estudio y nivel de exactitud de los resultados requeridos. Durante la etapa de clasificación, los datos del ICV son asignados a categorías de impacto. Si una sustancia contribuye a varias categorías de impacto, tiene que tenerse en cuenta en todas estas categorías.

2. Caracterización: Una vez que cada sustancia del ICV se ha asignado a una o más categorías de impacto ambiental a través de la clasificación, se compara su valor con respecto a la sustancia de referencia de dicha categoría. Esto se lleva a cabo a través de los factores de caracterización de cada sustancia, y representan la contribución de una sustancia a una determinada categoría de impacto en relación a la sustancia de referencia en dicha categoría. Cada sustancia es multiplicada por su correspondiente factor de caracterización. De este modo se pueden obtener valores con unidades equivalentes, los cuales pueden ser sumados para medir la contribución de las sustancias a esa categoría de impacto. La tabla 6 muestra algunos factores de caracterización para los principales gases de efecto invernadero en la categoría “Calentamiento Global”.

Tabla 5. Clasificación de las categorías de impacto a tener en cuenta en un ACV, de acuerdo con la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (tomado de IHOBE, SA, 2009)

Categoría de impacto ambiental		Unidad de referencia	Factor de caracterización
Calentamiento Global	Fenómeno observado en las medidas de la temperatura que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas	kg eq CO ₂	Potencial de calentamiento global (PCG)
Consumo de Recursos Energéticos	Energía consumida en la obtención de las materias primas, fabricación, distribución, uso y fin de vida del elemento analizado.	MJ	Cantidad consumida
Reducción de la Capa de Ozono	Efectos negativos sobre la capacidad de protección frente a las radiaciones ultravioletas solares de la capa de ozono atmosférica.	kg eq. CFC-11	Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono (PAO)
Eutrofización	Crecimiento excesivo de la población de algas originado por el enriquecimiento artificial de las aguas de ríos y embalses como consecuencia del empleo masivo de fertilizantes y detergentes que provoca un alto consumo del oxígeno del agua.	kg eq. de NO ₃ ⁻	Potencial de Eutrofización (PE)
Acidificación	Pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera	kg eq SO ₂	Potencial de Acidificación (PA)
Consumo de Materias Primas	Consumo de materiales extraídos de la naturaleza.	Tm	Cantidad consumida
Formación de Oxidantes Fotoquímicos	Formación de los precursores que dan lugar a la contaminación fotoquímica. La luz solar incide sobre dichos precursores, provocando la formación de una serie de compuestos conocidos como oxidantes fotoquímicos (el ozono-O ₃ es el más importante por su abundancia y toxicidad)	kg eq C ₂ H ₄	Potencial de Formación de oxidantes fotoquímicos (PFOF)

Tabla 6. Comparación de los factores de caracterización de los gases de efecto invernadero en la categoría de impacto “Calentamiento Global”, de acuerdo con dos metodologías (tomados de IHOBE, SA, 2009).

Sustancia	Factor de Caracterización (kg eq. CO ₂)	
	IPCC 2007	Ecoindicador-99
CO ₂	1	1
CH ₄	21	11
N ₂ O	298	270
CFCs	124-14.800	100-13.000

3.- Normalización, agrupación y ponderación: Además de los pasos obligatorios a realizar en la EICV, existen pasos opcionales que pueden darse dependiendo del objetivo y alcance previsto. Estos son los siguientes:

- **Normalización:** Conversión de los resultados de la caracterización a unidades globales neutras, dividiendo cada uno por un factor de normalización. A través de estos factores se representa el grado de contribución de cada categoría de impacto sobre el problema medioambiental local.
- **Agrupación:** Clasificación de las categorías de impacto en otros grupos que engloben categorías de impacto con efectos similares.
- **Ponderación:** Conversión de los resultados de los valores caracterizados a una unidad común y sumable (en el caso de que la metodología incluya una normalización, a partir de los valores normalizados), multiplicándolos por su factor de ponderación. Posteriormente se suman todos ellos para obtener una puntuación única total del impacto ambiental del sistema.

A modo de ejemplo, supongamos que tenemos un sistema en el cual intervienen las siguientes sustancias en las cantidades indicadas en la tabla 7. Como ya hemos comentado, cada sustancia se asigna a una o más categorías de impacto ambiental. Tras la caracterización podríamos decir, por ejemplo, que el sistema emite:

2,66 kg eq de CO₂,
 4 10⁻⁵ kg. eq CFCs y
 0,8 kg. eq SO₂.

De este modo, aunque en realidad sólo se emite 1 kg de CO₂, los factores de caracterización convierten las emisiones totales para la categoría de Calentamiento Global en un valor total de 2,66 kg eq. de CO₂. Es por ello por lo que se utiliza el término “equivalente” para hablar de esa cantidad de emisión.

Tabla 7. Valores de caracterización de los gases de efecto invernadero según el método Ecoindicador 95 (tomados de IHOBE, SA, 2009).

Impacto del Ciclo de Vida (ICV)	Calentamiento Global (kg eq CO ₂)	Reducción de la Capa Ozono (kg eq CFCs)	Acidificación (kg eq SO ₂)
CO ₂ (1 kg)	x 1 = 1	-	-
CH ₄ (0,1 kg)	x 11 = 1,1	-	-
SO ₂ (0,8 kg)	-	-	x 1 = 0,8
CFCs (8 10 ⁻⁵ kg)	x 7.000 = 0,56	x 0,5 = 4 10 ⁻⁵	-
Caracterización	2,66	4 10⁻⁵	0,8

El siguiente paso sería la normalización, agrupación y ponderación de los valores obtenidos anteriormente para obtener el impacto ambiental global (tabla 8).

Tabla 8. Normalización, agrupación y ponderación de los gases analizados en la tabla 7 según el método Ecoindicador 95 (tomados de IHOBE, SA, 2009).

Caracterización	2,66 kg eq CO ₂	4 x 10 ⁻⁵ kg eq CFCs	0,8 kg eq SO ₂
<i>factor de normalización</i>	/13.477	/0,8	/112,6
Normalización	1,97 10 ⁻⁴	5 10 ⁻⁵	7,1 10 ⁻⁴
<i>factor de ponderación</i>	x 2,5	x 100	x 10
Ponderación	4,9x10 ⁻⁴	5x10 ⁻³	7,1x10 ⁻³
	Σ= 0,0126 puntos = 12,6 milipuntos		

Por lo tanto, en este ejemplo el impacto unitario de este proceso teniendo en cuenta estas tres categorías y usando la metodología Ecoindicador'95 es de 12,6 milipuntos.

d. Interpretación

Es la fase del ACV en la que los resultados del ICV y el EICV son interpretados de acuerdo al objetivo y alcance marcados inicialmente. En esta fase se realiza un análisis de los resultados y se marcan las conclusiones.

5.3.2. Ventajas e inconvenientes del ACV

En un principio, el interés que tenía esta herramienta de gestión medioambiental es que estaba orientada al producto, en contraposición a otros instrumentos, dirigidos exclusivamente al proceso de fabricación. Esto supone un enfoque más amplio de los problemas medioambientales, que le imprime un carácter preventivo al permitir corregir características de impacto negativo antes de que el producto se encuentre en fase de fabricación.

Sin embargo, el ACV se ha ido desarrollando y adaptando con el transcurso de los años, no solo a productos, sino también a procesos industriales y productivos, lo que ha dado a esta herramienta un sentido más global y más amplio. En definitiva, se ha convertido en un instrumento mucho más consistente.

Entra las principales ventajas del ACV podemos citar las siguientes:

- Aporta información al consumidor y a las partes implicadas.
- Es un instrumento de gestión medioambiental complementario a otras herramientas como auditorías medioambientales, evaluación de impacto medioambiental, ecoetiquetado, etc.
- Define prioridades a la hora de invertir, al dar un peso estratificado en la incidencia medioambiental.
- Permite a los diseñadores y productores así como a las empresas la planificación y toma de decisiones fundamentadas.
- Permite comparar productos y materiales equivalentes.
- Favorece la ampliación de los criterios calidad, impacto medioambiental, precio.
- Favorece el posicionamiento del producto en el mercado en base a su calidad medioambiental, diferenciándole de la competencia, a pesar del

hecho de que en las normas se especifica que este tipo de estudios no podrán ser utilizados como comparaciones comerciales.

- Detecta los fallos y deficiencias del producto y los puntos fuertes del mismo bajo criterios medioambientales.
- Identifica oportunidades de mejora a lo largo de toda su existencia.
- Es una herramienta científica clara, objetiva y transparente

Entre las desventajas más significativas se encuentran las siguientes:

- Requiere la elaboración de bases de datos propias de cada país.
- La naturaleza de las elecciones e hipótesis que se hacen en el ACV pueden ser subjetivas.
- Los resultados de un ACV orientados a ámbitos globales o regionales pueden no ser apropiados para aplicaciones locales.
- La precisión de los estudios de ACV puede estar limitada por la accesibilidad o disponibilidad de datos importantes o por la calidad de los mismos.
- La ausencia de consideraciones espaciales y temporales en los datos del inventario utilizado para la valoración del impacto introduce incertidumbre en los resultados de dicho impacto. Esta incertidumbre varía con las características espaciales y temporales de cada categoría de impacto.

5.3.3. Metodologías de evaluación de impactos del CV

La evaluación del impacto del ciclo de vida es una tarea que conlleva importantes retos metodológicos en su aplicación práctica ya que algunos aspectos relevantes que afectan a dicha evaluación se encuentran aún en las mesas de debate de científicos y profesionales. Por este motivo se pueden encontrar numerosas metodologías desarrolladas por diversos equipos de investigación a lo largo del mundo.

La principal y más relevante diferencia entre todas ellas reside en que algunas optan por analizar el efecto último del impacto ambiental, mientras que otras consideran únicamente los efectos intermedios, es decir, hasta qué eslabón se llega durante el análisis en el mecanismo ambiental que relaciona

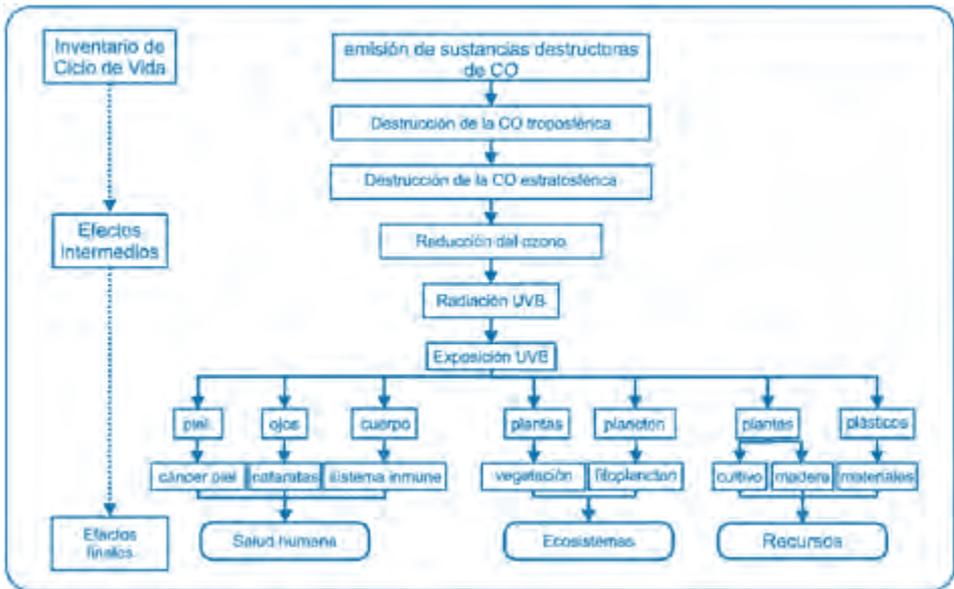


Figura 13. Mecanismo ambiental para el agotamiento de la capa de ozono (CO) (Jolliet et al. 2004).

las emisiones del inventario del ciclo de vida con el daño provocado sobre la salud humana y el medio ambiente.

En la figura 13 se muestra, a modo de ejemplo, el mecanismo ambiental para la categoría de agotamiento de la capa de ozono. La figura ilustra la cadena causa-efecto desde el momento en que se libera las sustancias que causan el impacto hasta sus efectos intermedios y finales.

Según se consideren los efectos intermedios o finales, se distinguiendo grandes grupos de metodologías de evaluación del inventario de ciclo de vida:

- **Metodologías *midpoint*, de impactos de efecto intermedio o metodologías orientadas al problema.** Este primer grupo de metodologías emplea categorías de impacto que se encuentran más cercanas a la intervención ambiental, permitiendo en general modelos de cálculo que se ajustan mejor a dicha intervención. Estas categorías proporcionan una información más detallada de qué manera y en qué punto se afecta el medio ambiente y son más recomendables para la divulgación de los resultados entre la comunidad científica y técnica. Entre las categorías más habituales empleadas están: calentamiento global, consumo de recursos energéticos, agotamiento capa de ozono, eutrofización, acidificación, etc.

- **Metodologías *endpoint*, de impactos de efecto final o metodologías orientadas al daño.** Son metodologías orientadas al daño que analizan el efecto último del impacto ambiental, esto es, tratan de identificar y definir el daño causado al hombre y a los sistemas naturales con indicadores que afectan directamente a la sociedad resultando su elección más comprensible a escala global para un público no especializado. El inconveniente que presentan es que en la evaluación del daño se introduce una elevada incertidumbre dada la dificultad de modelizar las complejas relaciones causa-efecto de los mecanismos ambientales asociados a cada categoría de impacto. Entre las categorías más habituales empleadas en este tipo de metodología están: Daño a la salud humana, daños a las plantas y a la vida salvaje, pérdida de biodiversidad, pérdida de calidad del suelo, etc.

Las metodologías de uso más extendido en el ámbito internacional son las metodologías **Ecoindicador 99** y **CML**, que representan los últimos avances en metodologías de efecto final y efecto intermedio respectivamente. La metodología ReCiPe, que combina los resultados de las dos anteriores es también muy aceptada. En la tabla 9 se muestra un resumen de las metodologías más utilizadas.

Tabla 9. Resumen de las metodologías de evaluación de impactos de ciclo de vida

Metodología	Descripción	Creador
CML 2002	Metodología de efecto intermedio	Centre of Environmental Science (Holanda)
Ecoindicador 99	Metodología de efecto final	Pre Consultans (Holanda)
TRACI	Metodología de efecto intermedio	Environmental Protection Agency (EE UU)
EDIP 2003	Metodología de efecto intermedio	Technical University of Denmark
IMPACT 2002	Metodología que relaciona 14 categorías de impacto de efecto intermedio con 4 categorías de punto final	EPFL (Suiza) y Universidad de Michigan (EE UU)
EPS 2000	Metodología de efecto final	IVM (Suecia)
ReCiPe	Combina el CML 2001 y el Ecoindicador 99	Pre Consultans y CML (Holanda)

Así pues, en el siguiente paso de la realización del Análisis de Ciclo de Vida, para poder proceder a la evaluación de los impactos ambientales, es necesario determinar las categorías de impacto que nos van a venir dadas por la metodología de análisis escogida.

a. Metodología CML 2000

Entre las metodologías utilizadas para la realización de estudio de ACV, la metodología *CML 2 baseline 2000* es una de las más habituales. En esta metodología se propone una lista de categorías de impacto clasificadas en tres grupos según su obligatoriedad o no de incluirlas en los ACV. Ha sido desarrollada por el Centro de Estudios Ambientales de Leiden (*Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden*) de la Universidad de Leiden en los Países Bajos. Es una metodología con gran aprobación dentro de la comunidad de profesionales del ACV ya que buena parte de las categorías de impacto contempladas son aquellas en las que existe mayor consenso internacional, tanto científico como normativo (tabla 10). Esta metodología pertenece al grupo de aquellas que estudian los impactos en el punto intermedio de la cadena causa-efecto.

Tabla 10. Clasificación de las categorías de impacto, según la metodología CML

Categoría de impacto	Observación
A (obligatorias)	utilizadas en la mayoría de ACVs
B (adicionales)	para las que existen indicadores, pero no siempre son incluidos.
C	para las cuales no se dispone de indicadores que permitan cuantificar el impacto y por tanto no son incluidas en los ACV

Áreas de protección: (I) Salud Humana, (II) Entorno natural, (III) Entorno modificado por el ser humano, (IV) recursos naturales.

Escala geográfica: Continental/regional/local/global

Por lo tanto, las categorías consideradas cuando se utiliza esta metodología son principalmente las catalogadas como **A**, a saber:

- **Uso del Suelo:** Aunque es una de las categorías más importante en la evaluación de la sostenibilidad de una actividad, no existe hoy en día

un consenso sobre qué indicadores usar. Hay estudios que muestran que la extinción de especies se debe precisamente a la pérdida del hábitat, ya que la transformación del hábitat natural en tierras para la agricultura y la actividad forestal, la expansión de las áreas urbanas e industriales han desplazado los ecosistemas naturales. Los indicadores más avanzados guardan relación con la biodiversidad, además de evaluar los 14 cambios en la calidad del suelo que a su vez afectarán a las funciones de sostenimiento de la vida, fertilidad del suelo, ciclos hidrológicos, etc.

- **Agotamiento de Recursos Abióticos:** Este indicador categoría de impacto está relacionado con la extracción de minerales y combustibles fósiles, debido a las entradas en el sistema. Se puede definir como la disminución de la disponibilidad de recursos naturales. Se incluye en esta categoría recursos abióticos y energía.
- **Cambio Climático:** es el calentamiento previsible de la atmósfera terrestre provocado por el aumento del dióxido de carbono (CO_2) y otros gases en la atmósfera. Estos gases (en gran parte subproductos del consumo de combustibles fósiles), forman una capa que retiene el calor de la atmósfera. Esta retención de calor puede provocar un aumento de la temperatura media en la Tierra. El ascenso de la temperatura puede afectar a los océanos hasta el punto que suba el nivel del mar, con graves consecuencias para la tercera parte de la humanidad que vive en las zonas litorales. Los cambios climáticos también podrían afectar drásticamente a los esquemas del tiempo, a las estaciones alrededor del mundo y por extensión a la agricultura. Otras sustancias que también contribuyen a aumentar el efecto invernadero son el metano (CH_4), componente básico del gas natural emitido también por pantanos y zonas inundadas; el vapor de agua; el óxido nitroso (N_2O), emitido por ejemplo por suelos con un exceso de nitrógeno; etc. El efecto invernadero es un impacto a escala global.
- **Acidificación:** Consiste en la deposición de ácidos resultantes de la liberación de óxidos de nitrógeno y sulfuro en la atmósfera, en el suelo y en el agua, donde puede variar la acidez del medio cosa que afectara a la flora y fauna que habita en él, produce deforestación y también puede afectar a los materiales de la construcción. Las áreas de protección serán salud humana, recursos naturales, entorno natural y modificado por el ser humano.

- **Eutrofización:** En esta categoría se incluyen los impactos debidos a un alto nivel de los macronutrientes, nitrógeno y fósforo. Su incremento puede representar un aumento de la producción de biomasa en los ecosistemas acuáticos. Un aumento de las algas en los ecosistemas acuáticos producirá una disminución del contenido de oxígeno debido a que la descomposición de dicha biomasa consumirá oxígeno medido como Demanda Biológica de Oxígeno (DBO). Este consumo de oxígeno puede conducir a alcanzar unas condiciones anaerobias que provocarán la descomposición causada por bacterias anaerobias que liberaran CH_4 , H_2S y NH_3 . En último término desaparece cualquier tipo de vida aerobia. El proceso de eutrofización aumenta en verano. Las áreas de protección serán: entornos natural y modificado por el ser humano, y recursos naturales.
- **Agotamiento del Ozono Estratosférico:** La capa de ozono está presente en la estratosfera y actúa como filtro absorbiendo la radiación ultravioleta. La disminución de la capa de ozono provoca un incremento de la cantidad de radiación UV-B que llega a la superficie de la tierra. Dichas radiaciones son causa de un aumento de algunas enfermedades en humanos (cáncer de piel, supresión de sistema inmunitario, cataratas,...), afectan a la producción agrícola, degradación de materiales plásticos e interfieren en los ecosistemas, afecto por tanto a las cuatro grandes áreas de protección: salud humana, entorno natural, entorno modificado por el ser humano y recursos naturales. La mayoría de los cloruros y bromuros, procedentes de compuestos fluorocarbonados, CFCs y otras fuentes, reaccionan en presencia de las nubes estratosféricas polares (PSCs) emitiendo cloruros y bromuros activos que bajo la acción catalizadora de los UV provocan la descomposición del ozono.
- **Formación Oxidantes Fotoquímicos:** Bajo la influencia de la radiación solar, los óxidos de nitrógeno, NO_x , reaccionan con los compuestos orgánicos volátiles, para producir ozono troposférico, este fenómeno tiene lugar principalmente durante los meses de verano. La presencia de monóxido de carbono puede igualmente contribuir a la formación de ozono. Estos agentes oxidantes foto-químicos pueden resultar perjudiciales para la salud humana, los ecosistemas y la agricultura, afectando por tanto a las cuatro áreas de protección.
- **Toxicidad:** En esta categoría se contemplan los efectos sobre el ser humano y los ecosistemas acuáticos y terrestres de las sustancias toxicas existentes

en el ambiente. Afecta a las áreas de protección salud humana, entorno natural y recursos naturales. Estas categorías son aquellas para las cuales el factor destino y especialmente el transporte a través de diferentes medios, “*intermedia transport*” tiene más importancia. Un contaminante no permanece en el medio (entiéndase aire, suelo, agua superficial, agua subterránea, mar,...) en que es emitido, sino que puede desplazarse y alcanzar otros medios que serán a su vez contaminados. Una determinada sustancia puede incluso ser más dañina en un medio diferente al de su emisión.

b. Metodología Ecoindicador 99

El objetivo de este método es crear un indicador que permita a las empresas desarrollar productos, procesos o servicios cada vez más limpios y ecoeficientes, pero no debería emplearse en la comparación pública de productos, ni en la toma de decisiones políticas. En esta metodología se sigue la secuencia de clasificación, caracterización, normalización y valoración o ponderación (figura 14).

En la valoración se utiliza el principio de distancia al objetivo (*distance to target*), basándose estos objetivos en criterios científicos y no políticos. En los métodos basados en ese principio de distancia al objetivo, se hace uso de estándares de contaminación u objetivos de calidad medioambiental que se emplean para realizar la ponderación de las categorías de impacto.

La forma general de aplicación de estos métodos es la de multiplicar los índices normalizados por un cociente entre los impactos actuales (aquellos que provoca nuestro sistema objeto de estudio) y los impactos objetivos (aquellos que se toman como referencia y son determinados por la comunidad científica). Los estándares y objetivos pueden formularse a diferentes niveles, por una empresa, por la administración, etc. El método Ecoindicador usa estándares y objetivos realizados y aceptados por la comunidad científica.

La normalización y la valoración con este método se realizan en categorías de niveles de daño (nivel de “punto final” o “*endpoint*” según la terminología ISO). Existen tres categorías de daño:

- **Daño a la Salud Humana**, tiene como unidad de medida el DALY (“*Disability Adjusted Life Years*”, años de vida modificados por discapacidad), esto significa que mide los años de vida perdidos y los vividos con distintas discapacidades causadas por enfermedades.



Figura 14. Secuencia de la metodología Ecoindicador 99.

- **Daño a la Calidad del ecosistema**, se mide en $\text{PDF} \cdot \text{m}^2$ y año, donde PDF (“*Potentially Disappeared Fraction*”), viene a representar la fracción potencial de especies de plantas que desaparecen por metro cuadrado y año.
- **Daño a los Recursos**, se mide en MJ de energía, y representa la energía adicional necesaria para extraer futuros minerales y combustibles.

Por lo tanto, para calcular los ecoindicadores, es decir, determinar el número de milipuntos que es la unidad que otorga el ecoindicador al impacto unitario, es necesario dar tres pasos:

- Paso 1: Inventario de las emisiones relevantes, la extracción de recursos y el uso del suelo de todos los procesos incluidos en el Ciclo de Vida de un producto o proceso. Es un procedimiento estándar de los LCA.
- Paso 2: Cálculo de los daños que pueden causar esos flujos a la salud humana, a la calidad del ecosistema y a los recursos.
- Paso 3: Ponderación de las tres categorías de daño.

La figura 15 resume los pasos y las categorías del método.

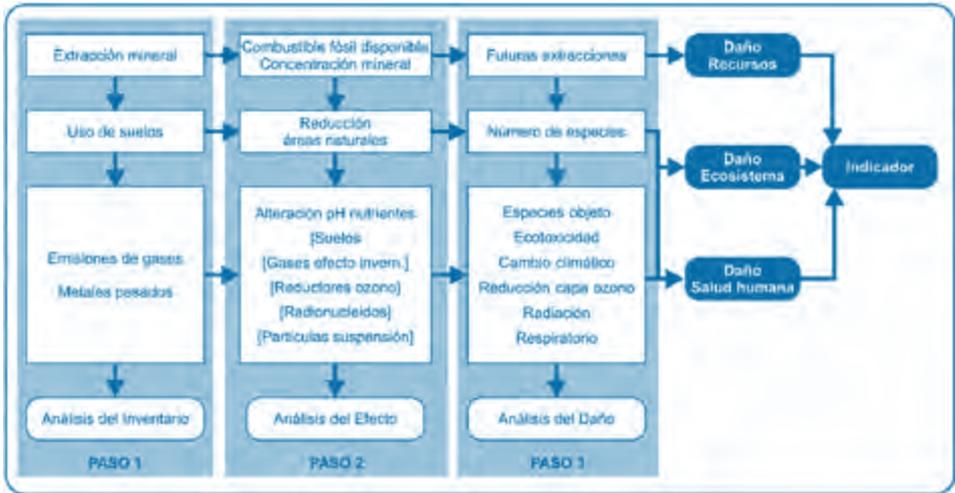


Figura 15. Pasos y categorías del método Ecoindicador 99.

En la tabla 11 se muestran las categorías de impacto asociadas a cada área de protección.

Tabla 11. Áreas de protección y categorías de impacto para el Ecoindicador 99.

Área de protección	Categoría del impacto	Unidades
Calidad del ecosistema	Acidificación / eutrofización	PDF m ² a
	Uso del suelo	
	Ecotoxicidad	PAF m ² a
Salud humana	Carcinógenos	DALY
	Cambio climático	
	Agotamiento capa de ozono	
	Radiación	
	Compuestos inorgánicos respirables	
	Compuestos orgánicos respirables	
Recursos	Combustibles fósiles	MJ
	Minerales	

c. Metodología ReCiPe

Como ya se ha explicado en los apartados anteriores, las metodologías CML 2000 y la Ecoindicador 99 son las comúnmente más utilizadas en el ámbito europeo y presentan algunas diferencias significativas:

- La metodología **CML 2000** es una metodología de puntos intermedios, es decir, con un planteamiento orientado al problema ambiental. Para la caracterización utiliza 10 categorías de impacto (disminución de la capa de ozono, toxicidad humana, ecotoxicidad de agua dulce, ecotoxicidad agua de mar, ecotoxicidad terrestre, oxidación fotoquímica, calentamiento global, acidificación, agotamiento de recursos abióticos y eutrofización).
- La metodología **Ecoindicador 99** es una metodología de puntos finales, es decir, con un planteamiento orientado al daño. Utiliza 11 categorías de impacto.

La metodología de evaluación de impacto **ReCiPe**, creada por RIVM, CML, PRé Consultants, Radboud Universiteit, Nijmegen y CE Delft. ReCiPe se desarrolló para combinar las ventajas de los métodos **CML 2000** y **Ecoindicador 99**. La ventaja del método CML es su solidez científica, mientras que la ventaja del Ecoindicador 99 es su facilidad de interpretación.

Se trata de una metodología reciente (publicada en el año 2008) e internacionalmente aceptada. Esta metodología, también está enmarcada en el ámbito europeo y está considerada como la sucesora de las metodologías anteriores. Esta metodología integra el enfoque orientado al problema ambiental y el orientado al daño. Comprende, por tanto, dos grupos de categorías de impacto: uno de puntos intermedios, que incluye 18 categorías (Cambio climático, Disminución de la capa de ozono, Toxicidad humana, Formación de oxidantes fotoquímicos, Formación de materia particulada, Radiación ionizante, Acidificación terrestre, Eutrofización de agua dulce, Eutrofización marina, Ecotoxicidad terrestre, Ecotoxicidad de agua dulce, Ecotoxicidad marina, Ocupación de terreno agrícola, Ocupación de terreno urbano, Transformación de terreno natural, Disminución de cantidad de agua dulce, Disminución de recursos minerales y Disminución de combustibles fósiles) y otro de puntos finales que incluye 3 categorías (salud humana, ecosistemas y aumento del coste de recursos).

Además, ReCiPe (al igual que Ecoindicador 99) presenta tres factores acorde a tres perspectivas. Estas perspectivas representan un conjunto de aspectos como tiempo a desarrollo de tecnología.

- **Individualista (I):** se basa en un interés a corto plazo, con una perspectiva temporal de 100 años o menos. Se asienta en una visión optimista, que supone que los avances tecnológicos resolverán muchos problemas en el futuro.
- **Jerárquica (H):** es un modelo de consenso, basado en los principios más comunes respecto a plazo temporal y otros. Es considerado como el modelo por defecto.
- **Igualitaria (I):** es la perspectiva más cauta. Posee el periodo de tiempo más largo.

En el enfoque de puntos intermedios la incertidumbre de los datos es baja, es decir, los resultados son más fiables y precisos, pero resulta ambigua o difícil de interpretar para audiencias no técnicas. En el enfoque de puntos finales la incertidumbre en los datos es alta, pero los resultados son más fáciles de interpretar.

5.3.4. Herramientas informáticas para el ACV

Afortunadamente, el arduo trabajo de recopilación, clasificación, ponderación, normalización, agrupación, etc. asociado a las etapas de ICV y EICV es susceptible de ser asistido por herramientas informáticas. Existe una amplia variedad de programas informáticos disponibles para llevar a cabo ACV y tienen como componentes imprescindibles acceso tanto a bases de datos con todo tipo de procesos (extracción, producción de materias primas, transporte, procesado, etc.) como a las diferentes metodologías de EICV.

En el caso de las bases de datos, es recomendable que se encuentren bien definidas y con un periodo regular de actualización, debido a que los avances tecnológicos provocan un envejecimiento prematuro de la validez de los datos existentes. De igual modo, en estas actualizaciones se incluyen las constantes ampliaciones en cuanto a nuevos sectores y procesos incluidos por parte de los desarrolladores de dichas bases de datos.

Para el caso de las metodologías de EICV, es recomendable que la herramienta sea capaz de trabajar con varias de ellas a la vez permitiendo comparar

los resultados que proporcionan diferentes metodologías para el cálculo del mismo impacto ambiental.

La utilidad de esta opción radica en que puede ocurrir que los resultados sean muy diferentes aunque el impacto ambiental analizado sea el mismo, ya que las metodologías de EICV tienen sus propios alcances, factores de conversión y suposiciones. A través de esta comparativa se puede enriquecer la interpretación de los resultados y permite evaluar la idoneidad o no de una metodología u otra. Los posibles criterios a tener en cuenta en la elección son:

- Número de bases de datos que incorpora, procedencia, calidad y extensión
- Que permita editar bases de datos existentes e importar con facilidad bases de datos nuevas
- Facilidad del manejo del programa
- Posibilidad de utilizar distintos métodos de evaluación de impactos
- Trazabilidad de los resultados ofrecidos
- Interfaz y posibilidades gráficas que ofrece
- Coste económico

En la tabla 12 se muestran las herramientas de ACV de mayor desarrollo e implementación

Tabla 12. Programas informáticos para el ACV (IHOBE S.A., 2009).

Programa	Desarrollador	Enfoque
AIsT-LCA 4	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japón	Genérico
EVERDEE 2.0	ENEA, Italian National Agency for New Technology, Energy and the Environment	Genérico
Gabi	Instituto de ciencia y ensayos de polímeros (IKP) y la universidad de Stuttgart en colaboración con PE EUROPE GMBH	Genérico
SimaPro	PRE-Consultants	Genérico
TEAM	ECOBILAN PRICEWATERHOUSE COOPERS	Genérico
Umberto	ifu Hamburg GMBH	Genérico

Tabla 12. Programas informáticos para el ACV (IHOBE S.A., 2009) (continuación).

Programa	Desarrollador	Enfoque
CMLCA 4.2	Leiden University, Institute of Environmental Sciences (CML), Holanda	Genérico
BEES 4.0	National Institute of Standards and Technology (NIST), USA	Materiales de construcción
Environmental Impact Estimator 3.02	Athena Sustainable Materials Institute, Canada	Construcción y edificación
SABENTO 1.1	ifu Hamburg GmbH, Germany	Químico
UsEs-LCA 2.0	Radboud University Nijmegen, Holand	Agricultura, silvicultura y caza

En la tabla 13 se muestran algunas de las bases de datos más importantes y de uso más extendido en ACV.

Tabla 13. Bases de datos para el ACV (IHOBE, S.A, 2009).

Nombre	Formato	Nº de datos	Sector	Fuente
Ecoinvent	Ecospold	4000	Genérico	Ecoinvent Centre http://www.ecoinvent.org/
Boustead	Modelo propio	13000	Genérico	Boustead Consulting http://www.boustead-consulting.co.uk/
IVAM LCA	Ecospold	1300	Genérico	IVAM UvA bv http://www.ivam.uva.nl
ProBas	Ecospold	7000	Genérico	Umbeltbundesamt, Germany (German only). http://www.probas.umweltbundesamt.de
GaBi databases 2006	Ecospold	2300	Genérico	PE International GmbH, Germany. University of Stuttgart, Germany. http://www.gabi-software.com/
DEAM	Ecospold	1200	Genérico	Ecobilan – PriceWaterhouse Coopers, France. https://www.ecobilan.com/
ETH – ESU 96	Ecospold	1181	Genérico	ETH-ESU, Switzerland. http://www.esu-services.ch/
GEMIS 4.4.	Excel	1000	Genérico	Institute for applied Ecology, Darmstadt office, Germany. http://www.gemis.de/

Tabla 13. Bases de datos para el ACV (IHOBE, S.A, 2009).
(continuación).

Nombre	Formato	Nº de datos	Sector	Fuente
Option data pack	Excel	967	Genérico	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan (Japanese only). http://www.jemai.or.jp/english/index.cfm
Umberto library 5.5.	Ecospold	600	Genérico	Institute for Environmental Informatics Hamburg GmbH, Germany. http://www.umberto.de/
IDEMAT 2001	Ecospold	507	Genérico	Delft University of technology, Holland. http://www.idemat.nl/
CPM LCA Database	Spine	500	Genérico	Center for Environmental Assessment of Product and Material Systems-CPM, Sweeden. http://www.cpm.chalmers.se/CPMDatabase/
Japanese Input Output Database	Tablas Input – Output	400 sectores	Multi sectorial	Environmental Technology Laboratory of the Corporate Research & Development centre of Toshiba Corporation, Japan. http://www.toshiba.co.jp/env/en/products/ecp/factor.htm
FRANKLIN US LCI	Ecospold	355	Genérico	Franklin Associates Ltd, USA. / National Renewable Energy Laboratory, USA. Sylvatica, USA / Athena Sustainable Materials Institute, Canadá. http://www.fal.com/
Data Archive	Ecospold	354	Genérico	Plastics Waste Management Institute (PWMI), Japan. Federal Office for the Environment, Switzerland. Chalmers University of Technology, Sweeden. http://www.plasticseurope.org/
BUWAL 250	Ecospold	286	Genérico	Federal Office for the Environment, Switzerland. http://www.bafu.admin.ch/
Ecodesign X-Pro database 1	Ecospold	150	Genérico	Ecomundo, France. http://www.ecomundo.eu/default.aspx

Tabla 13. Bases de datos para el ACV (IHOBE, S.A, 2009).
(continuación).

Nombre	Formato	Nº de datos	Sector	Fuente
US Input Output Database	Tablas Input – Output	163 sectores	Genérico	Toxic Releases Inventory 98 (TRI), Air Quality Planning and Standard (AIRS). EPA USA. Energy information administration (EIA). US dep. of energy. Bureau of Economic Analysis (BEA). Datos del US Dep. of Commerce. National Center for Food and Agricultural Policy (NCFAP) and World Resource Institute (WRI). http://www.epa.gov/region6/6pd/tri/index.htm
Danish Input Output Database	Tablas Input – Output	130 sectores	Genérico	Danish statistical data (NAMEA). Danish Environmental Protection Agency. http://www.mst.dk/English/
LCA Food	Ecospold	80	Genérico	Danish environmental protection agency. http://www.mst.dk/English/
Industry Data	Ecospold	74	Genérico	Plastics europe, various. http://www.plasticseurope.org/Content/Default.asp?PageID=392
Salca 071	Ecospold	700	Producción agrícola	Agroscope Reckenholz – Tägerikon Research Station ART, Switzerland. http://www.art.admin.ch/
KCL Eco-Data	Ecospold	300	Silvicultura	Oy keskuslaboratorio-Centrallaboratorium Ab, KCL, Finland. http://www.kcl.fi/page.php?page_id=75
Sabento library	Excel	450	Biotecnología	Ifu Hamburg GmbH, Germany. http://www.sabento.com/en/
Eurofer data sets	No especificado	14	Industria del acero	European Confederation of Iron and Steel Industries (EUROFER) http://www.eurofer.be/
sirAdos 1.2.	Ecospold	150	Construcción	LEGEP Software GmbH, Germany. Universität Karlsruhe, Germany. http://www.legep.de/

Tabla 13. Bases de datos para el ACV (IHOBE, S.A, 2009).
(continuación).

Nombre	Formato	Nº de datos	Sector	Fuente
EIME 10.0	Ecospold	558	Eléctrico – electronic	CODDE, France. http://www.codde.fr/
Waste technologies data centre	Ecospold	40	Residuos	Environment Agency, United Kingdom. http://www.environment-agency.gov.uk/wtd/

6. A modo de coda

Resulta esperanzador, a la par que a nosotros nos reafirma en la oportunidad de haber tomado como materia de desarrollo del trabajo tan retador como es este de ingreso en la Real Academia el de conservación de la diversidad biológica, que dos de los actos de la Agenda Internacional con que concluye el año 2016 hayan tenido como fin el Cambio Climático y el Convenio para la Conservación de la Diversidad Biológica.

La 22ª Conferencia de las Partes (COP22), de la Convención de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, celebrada en Marrakech durante los primeros días del último noviembre, ha dado un nuevo impulso al desarrollo de los objetivos políticos y prácticos del Acuerdo de París sobre el cambio climático. Nuevas promesas de inversión en tecnologías limpias, la creación de capacidad para informar de planes de acción por el clima e iniciativas para impulsar la seguridad alimentaria y la seguridad de los recursos hídricos en países en desarrollo son algunas de las iniciativas lanzadas y se fija un corto plazo, hasta 2018, para completar las normas de aplicación de dichos Acuerdos con el fin de asegurar la confianza, la cooperación y su éxito en años y décadas venideros.

Como ejemplo de los compromisos de empresas, inversores, ciudades y gobiernos locales puede citarse que una asociación de gobiernos subnacionales, la *Under2 Coalition*, se ha comprometido a reducir las emisiones al menos un 80 % para el año 2020. La *Under2 Coalition* está formada por 165 miembros que representan a 33 países cuyo PIB es de casi 26.000 millones de dólares, un tercio de la economía mundial, y cubre una población de alrededor de mil millones de personas que viven en 6 continentes.

Un resultado crucial de la conferencia de Marrakech sobre el cambio climático ha sido el progreso de la redacción de las normas de aplicación, o

manual, del Acuerdo de París (COP21). El acuerdo exige una importante mejora de la transparencia de la acción, entre otras cosas para las mediciones y la contabilidad de las reducciones de las emisiones, la provisión de financiación para hacer frente al cambio climático y para el desarrollo y transferencia de tecnología. Y más avances constatados en la Cumbre mueven a ser optimistas:

- Los países han prometido 23 millones de dólares al Centro y Red de Tecnología del Clima, que apoya a los países en desarrollo en temas de desarrollo y transferencia de tecnología para el clima. Como instrumento de implementación del Mecanismo Tecnológico, dicho centro es una institución clave para que las naciones puedan cumplir los compromisos que han contraído en virtud del Acuerdo de París.
- El PNUMA ha lanzado una nueva iniciativa mundial, la Iniciativa Mundial de Turberas, que tiene como objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y salvar miles de vidas protegiendo las turberas, que son la mayor reserva de carbono orgánico del suelo del mundo. Esta iniciativa movilizará a gobiernos, organizaciones internacionales e instituciones académicas en un esfuerzo dirigido a proteger las turberas, que contienen casi 100 veces más carbono que los bosques tropicales.
- El número de empresas que están contrayendo compromisos climáticos a través de la coalición *We Mean Business* ha subido a más del doble de las que había cuando se celebró la COP21. *We Mean Business* ha anunciado que en total 600 empresas con más de 8 billones de dólares en capitalización bursátil han contraído más de mil compromisos ambiciosos de actuación frente al cambio climático. Estas empresas representan a todos y cada uno de los sectores económicos y las regiones del mundo. La iniciativa Metas Basadas en la Ciencia sigue recibiendo un impulso enorme desde París. Hasta la fecha casi 200 empresas se han sumado a la iniciativa, y en el último año el crecimiento ha sido a un ritmo de más de 2 empresas por semana.
- Una nueva asociación entre la FAO y Google ha dado como fruto *Collect Earth*, una herramienta de código abierto que permite acceder a grandes colecciones de imágenes gratuitas de alta resolución obtenidas desde satélites y a recursos informáticos almacenados en la nube.
- Se ha lanzado la iniciativa Agua para África, establecida por el Reino de Marruecos y apoyada por el Banco Africano de Desarrollo en la COP22,

con el objetivo de hacer justicia a África a través de la adopción de un plan de acción específico que movilizará a diferentes socios políticos, financieros e institucionales internacionales.

- La FAO, el Banco Mundial y el Banco Africano de Desarrollo han anunciado el Paquete Africano para Economías Marinas Resilientes frente al Cambio Climático, un ambicioso paquete de asistencia técnica y financiera para apoyar a las economías marinas de África y mejorar la resiliencia de las zonas costeras frente al cambio climático.
- Una serie de socios han anunciado la Hoja de Ruta Estratégica a Favor de los Océanos y el Clima de 2016 a 2021, que proporciona una visión de la acción centrada en los océanos y el clima en los próximos cinco años, tratando seis temas relativos a los océanos.

El otro evento destacado en este final de año, 2016, ha sido que los Ministros de Medio Ambiente, Agricultura, Pesca, Bosques, y Turismo de los Estados parte del Convenio sobre la Diversidad Biológica se han reunido en Cancún para reafirmar su compromiso con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y han firmado la **Declaración de Cancún para la integración de la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad en los procesos productivos para el bienestar.**

En su preámbulo se reconoce que vivir en armonía con la naturaleza es necesario, como una condición fundamental para el bienestar, ya que la vida depende de la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad, así como de los servicios ecosistémicos que ésta provee, enfatizando que la diversidad biológica incluye a todos los seres vivos que habitamos el planeta. Y que es necesario actuar con urgencia frente a la crisis ambiental por la que atraviesa nuestro planeta, que compromete el bienestar de las generaciones presentes y futuras, debido a la afectación de la biodiversidad por la degradación y la pérdida de los ecosistemas, la sobreexplotación y el tráfico de especies, la introducción de especies exóticas invasoras, la contaminación del aire, del suelo y aguas continentales y océanos, y la vulnerabilidad a causa del cambio climático, entre otros factores.

Se apela a medidas de Gobernanza y Acción Institucional pues consideraran imperativo trabajar dentro de los gobiernos en sus distintos niveles u órdenes para integrar la conservación y uso sostenible de la biodiversidad en políticas, planes y programas sectoriales e intersectoriales; estableciendo un marco institucional, legislativo y regulatorio efectivo e incorporando un enfoque de inclusión económica y social.

Reconocen el papel de los conocimientos científicos como base para el mejoramiento de la productividad, aplicando criterios de sustentabilidad en los procesos de planeación agrícola, y el empleo de innovaciones tecnológicas, que permiten mitigar el cambio climático y sus efectos sobre la biodiversidad, y contribuyen a la seguridad alimentaria, mejoran la nutrición y la salud humana de la creciente población global. Conocimiento científico que debe también atender a un enfoque global e inclusivo, con la participación de los gobiernos, la sociedad civil, los pueblos indígenas y las comunidades locales, los jóvenes, el sector privado y la academia con una perspectiva de igualdad de género e inclusión social, como condición esencial para asegurar el cuidado de la biodiversidad y el bienestar de la humanidad.

Y tema principal y recurrente en este nuestro trabajo se comprometen también a impulsar la integración de la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad, y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos, para el cumplimiento de la Agenda 2030 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular para: la protección y el manejo sostenible de los ecosistemas; la lucha contra la desertificación; la acción climática; la buena salud; el agua limpia y su saneamiento; la seguridad alimentaria; la producción y el consumo sostenible; el crecimiento económico y el empleo digno; la prevención de riesgos naturales; el logro de ciudades y asentamientos humanos compactos, resilientes, sostenibles e inclusivos; así como la paz y la justicia; y la reducción de la pobreza en todas sus formas, la malnutrición y la desigualdad social entre personas y regiones.

Ese compromiso se ha de hacer realidad por el impulso de manera sistemática de la implementación de los objetivos del Convenio sobre la Diversidad Biológica, el Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020 y su Visión para el 2050, así como las Metas de Aichi, integrando los protocolos de Cartagena y de Nagoya; teniendo presentes otras iniciativas adoptadas en foros internacionales ligados a los temas de desarrollo sostenible, comercio, pesca y biodiversidad.

7. Bibliografía

7.1. Agradecimientos

- *Díaz-Ruiz Alba JR* y López Abella D. En memoria de Miguel Rubio Huertos (1920-2013): Un científico virólogo, pintor y bohemio. Web de la Sociedad Española de Fitopatología. http://sef.es/noticias.php?id_aplic=14&id_tabla=65 (consulta realizada el 22 de julio de 2016).
- Domingo R. El profesor Larralde. Diario de Navarra, 29 de noviembre de 2010.
- Papa Francisco. *Laudato si'* (carta encíclica). Biblioteca de Autores Cristianos, Madrid. 2015.
- Ramón y Cajal S. Los tónicos de la voluntad: reglas y consejos sobre investigación científica (novena edición). Espasa Calpe, Madrid. 1971.
- UNESCO: Declaración sobre la Ciencia y el uso del saber científico. Documento aprobado por la Conferencia mundial sobre la ciencia el 1 de julio de 1999, (disponible en: http://www.unesco.org/science/wcs/esp/declaracion_s.htm).

7.2. Introducción

- Gómez-Baggethun E, de Groot R. Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas* 2007; 16 (3); 4-14, (disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/download/88/85>)

- Lobera J. Insostenibilidad: aproximación al conflicto socioecológico. *Revista de Ciencia Tecnología y Sociedad*, 2008; 11 (4): 53-80, (disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/cts/v4n11/v4n11a05.pdf>).
- Naciones Unidas. Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. 1992, (disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>).
- Naciones Unidas. Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe de 2015. Nueva York, (disponible en: http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/2015/mdg-report-2015_spanish.pdf)
- Sallares R. Environmental history. *En: A companion to Ancient History*. (Erskine A, Ed.) Blackwell Publishing Ltd., 2009. Sussex (UK). 164-174.
- Sieferle RP. The subterranean forest: energy systems and the industrial revolution. The White Horse Press. 2001. Cambridge (UK). pp 241 (disponible en: http://www.environmentandsociety.org/sites/default/files/key_docs/sieferle.pdf)
- World Wildlife Fund (WWF). Informe Planeta Vivo 2016. Riesgo y resiliencia en el Antropoceno. WWF International, Gland, Suiza (disponible en: http://awsassets.wwf.es/downloads/informeplanetavivo_2016.pdf)

7.3. Diversidad biológica

- Beattie AJ, Barthlott W, Elisabetsky W, Farrel R, Kheng CT, Prance I, Rosenthal J, Simpson D, Leakey R.. New products and industries from biodiversity, *En: Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends* (vol 1). Hassan R, Scholes R, Ash N (eds.). IslandPress 2005. Washintong pp 273-295 (disponible en: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.279.aspx.pdf>)
- Global International Waters Assessment (GIWA). Metodología GIWA. Etapa 1, selección y priorización. Guía sobre la metodología y su uso. 2001. (disponible en:

http://www.unep.org/dewa/giwa/methodology/GIWA_methodology_spanish_10_July_2001.pdf

- HLPE. La seguridad alimentaria y el cambio climático. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. Informe 3. 2012. Roma. (disponible en: <http://www.fao.org/3/a-me421s.pdf>)
- Institute for European Environmental Policy. Study to analyse legal and economic aspects of implementing the Nagoya Protocol on ABS in the European Union. Final report for the European Commission, DG Environment. IEEP, Brussels and London, April 2012. (disponible en: <http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/international/abs/pdf/FINAL%20REPORT.pdf>)
- Kursar TA, Caballero-George CC, Capson TL, Cubilla-Rios L, Gerwick WH, Gupta MP, Ibañez A, Linington RG, McPhail KL, Ortega-Barría E, Romero LI, Solis PN, Coley PD. Securing Economic Benefits and Promoting Conservation through Bioprospecting. *BioScience* (2006) 56 (12): 1005-1012 (disponible en: <http://bioscience.oxfordjournals.org/content/56/12/1005.full.pdf+html>)
- Laird S, Monagle C, Johnston S. Queensland biodiscovery collaboration the Griffith University AstraZeneca partnership for natural product discovery. An access & benefit sharing case study. United Nations University – Institute of Advances Studies, 2008. Yokohama, Japon. 58 p.
- Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, 2005. Washington, DC (disponible en: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>)
- Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity synthesis. World Resources Institute, 2005. Washington, DC
- Molina R, Martínez F, Segura Y, Melero JA y Pariente MI. Tratamiento de contaminantes farmacéuticos emergentes mediante procesos foto- y sono-Fenton heterogéneo. *En: Tecnologías de tratamiento de agua para su reutilización. Programa Consolider Tragua. Consolider Tragua. 2012. Madrid. pp. 21-40.*

- Naciones Unidas. Convenio sobre la Diversidad Biológica. Naciones Unidas. 1992. (disponible en: <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>)
- Naciones Unidas. Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Naciones Unidas. 1998. (disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>)
- Naciones Unidas. Informe de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible. Johannesburgo (Sudáfrica). Naciones Unidas, Nueva York. 2002. (disponible en: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N02/636/96/PDF/N0263696.pdf?OpenElement>)
- Parlamento Europeo. REGLAMENTO (CE) No 1907/2006 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 18 de diciembre de 2006 relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, se modifica la Directiva 1999/45/CE y se derogan el Reglamento (CEE) no 793/93 del Consejo y el Reglamento (CE) no 1488/94 de la Comisión, así como la Directiva 76/769/CEE del Consejo y las Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE de la Comisión. Diario Oficial 2006; L 396, 1-505.
- Rodríguez J, Casas JA, Mohedano AF, Zazo JA, Pliego G y Blasco S. Aplicación del proceso Fenton a la depuración de efluentes industriales y contaminantes emergentes. *En: Tecnologías de tratamiento de agua para su reutilización. Programa Consolider Tragua. Consolider Tragua. 2012. Madrid. pp. 5-20*
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Principios y directrices de Addis Abeba para la utilización sostenible de la diversidad biológica (Directrices del CDB). Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, Montreal. 2004. 21 p. (disponible en: <https://www.cbd.int/doc/publications/addis-gdl-es.pdf>)
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Restoring life on Earth. CBD technical series no. 88. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. 2016. 131 p. (disponible en: <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-88-en.pdf>)

- US Global Change Research Program (USGCR). The Impacts of climate change on human health in the United States: A scientific assessment. Crimmins A, Balbus J, Gamble JL, Beard CB, Bell JE, Dodgen D, Eisen RJ, FannN, Hawkins MD, Herring SC, Jantarasami L, Mills DM, Saha S, Sarofm MC, Trtanj J, Ziska L (Eds.) U.S. Global Change Research Program, 2016. Washington, DC, pp 312.
<http://dx.doi.org/10.7930/J0R49NQX>
- World Health Organization/United Nations Environment Program. The State-of-the-Science of Endocrine Disrupting Chemicals - 2012 (Bergman Å, Heindel JJ, Jobling S, Kidd KA, Zoeller RT, eds). UNEP/WHO. Geneva. 289 p (disponible en:
http://www.who.int/iris/bitstream/10665/78101/1/9789241505031_eng.pdf)

7.4. Responsabilidad social, corporativa y desarrollo sostenible

- Barceló D, Postigo C. Los contaminantes emergentes, descripción y tratamientos. *iAgua Magazine*, 2014; 4(9): 32.
- BizkaiLab. Metodología para el Análisis De Ciclo de Vida de Depuradoras de Aguas Residuales. Diputación Foral de Vizcaya, Universidad de Deusto. 2012
- Cámara JL. Análisis de la confiabilidad de las metodologías de EICV. Universidad de Oviedo. 2012
- Científicos por el Medio Ambiente. Dossier Técnico. Análisis del Ciclo de Vida. EGO – La revolución invisible. 2007. (disponible en:
http://www.oei.es/salactsi/dossier_cientifico.pdf)
- EcoRae Project. Informe de resultados del ACV del proceso. Universidad de Vigo. 2013.
- Galli A, Wackernagel M, Iha K, Lazarus E. Ecological Footprint: Implications for biodiversity. *Biological Conservation*. 2014, 173: 121–132.
- Harrar de Dienes A, Gómez Navarro T. Alternativas de empaque para galletas de mantequilla: evaluación comparativa del ciclo de vida. *Anales de la Universidad Metropolitana*, 2008, 8(1): 163-185 (disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3622444.pdf>)

- IHOBE SA. Anexo. Ecoindicador 99. Método para evaluar el impacto ambiental a lo largo del Ciclo de Vida. *En* Manual práctico de ecodiseño. 2000. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca Gobierno Vasco. Bilbao.
- IHOBE SA. Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono: Dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto. 2009. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca Gobierno Vasco. Bilbao.
- Jolliet O, Müller-Wenk R, Bare J et al The LCIA Midpoint-damage Framework of the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2004, 9: 394
- Klöpffer W. Life cycle assessment: From the beginning to the current state. *Environmental Science and Pollution Research International*. 1997; 4(4):223-228.
- Ministry of Housing. Eco-Indicator 99. Manual for designers. Spatial Planning a Enviroment. The Hague (The Netherlands). 2000 (disponible en: https://www.pre-sustainability.com/download/EI99_Manual.pdf)
- Molina Mata S. El análisis de ciclo de vida como herramienta para el Ecodiseño. Universidad Autónoma Metropolitana. Mexico DF. 2012.
- Pasqualino JC, Meneses M, Abella M, Castells F. LCA as a decision support tool for the environmental improvement of the operation of a municipal wastewater treatment plant. *Environmental Science and Technology* 2009; 43 (9): 3300-3307.
- Ruiz Amador D, Zúñiga López I. Análisis de ciclo de vida y huella de carbono. UNED. 2012.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Declaración de Cancún para la integración de la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad en los procesos productivos para el bienestar. Cancún (México). Del 4 al 17 de diciembre de 2016. 8 p. (disponible en: <https://www.cbd.int/doc/c/b256/aeb8/28aab95b36acd29a0d129259/cop-13-24-es.pdf>)
- Under2 Coalition. Memorándum de entendimiento (MOU) en materia de liderazgo mundial ante el cambio climático. 2016. (disponible en:

<http://under2mou.org/wp-content/uploads/2015/04/Under2-MOU-Spanish.pdf>)

- UNE-EN ISO 14040. Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia. AENOR. Diciembre 2006.
- UNE-EN ISO 14044. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices. AENOR. 2006.
- World Business Council for Sustainable Development / World Resources Institute (WBCSD / WRIWRI). The challenge of greenhouse gas emissions. New Zealand, 2002. (disponible en: https://www.sbc.org.nz/__data/assets/pdf_file/0019/54901/Climate_Change_Guide.pdf)
- World Business Council for Sustainable Development / World Resources Institute (WBCSD / WRIWRI). Protocolo de Gases Efecto Invernadero, edición revisada, 2006. (disponible en: http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/protocolo_de_gei.pdf)
- World Business Council for Sustainable Development / World Resources Institute (WBCSD / WRIWRI). Accounting for GHG emissions in corporate and product supply chains. International Workshop of GHG Protocol Programs. Washintong DC. 2010.
- World Business Council for Sustainable Development / World Resources Institute (WBCSD / WRIWRI). Corporate value chain (scope 3) Accounting and reporting standard. 2011. (disponible en: http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf)
- World Business Council for Sustainable Development / World Resources Institute (WBCSD / WRIWRI). Global protocol for Community-scale Greenhouse Gas Emission inventories. 2014. (disponible en: <http://www.ghgprotocol.org/city-accounting>)
- World Business Council for Sustainable Development / World Resources Institute (WBCSD / WRIWRI). GHG protocol scope 2 guidance. 2015. (disponible en; http://www.ghgprotocol.org/scope_2_guidance)

8. Discurso de contestación del Excmo. Sr. D. Benito del Castillo García

Académico de Número de la Real Academia Nacional de Farmacia

Excmo. Sr. Presidente,
Excelentísimas Sras. y Sres. Académicos,
Queridos amigos y compañeros,
Sras. y Sres.

La Dra. Yolanda Barcina es una farmacéutica excepcional, una científica competente, una gestora universitaria relevante y una persona de gran talla humana.

La Profesora Barcina se instala en la vida a la sombra de la noble ciudad de Burgos en 1960. En la década de los setenta se traslada a Pamplona para cursar los estudios de Farmacia por la Universidad de Navarra, los cuales culmina con un destacado expediente. Yolanda Barcina es discípula predilecta de Don Jesús Larrade Berrio, Catedrático de la Universidad de Navarra y también Miembro Numerario de esta Academia.

En 1982 no sólo concluye sus estudios de licenciatura con las máximas calificaciones, sino que su tesina fin de estudios merece el Premio del Consejo General de Colegios de Farmacéuticos. En la misma Universidad de Navarra, ejerciendo de Ayudante de Prácticas, prosigue los estudios de postgrado al investigar sobre las interacciones entre antibióticos y nutrientes. Alcanza en 1984 el Grado de Doctora, siendo su mentor y director el Profesor Larralde; la calidad de su Tesis es tal que obtiene Premio Extraordinario. Posteriormente realizó el postgrado en diversos centros de investigación franceses, tales como el Instituto Pasteur de Lille o el *Institut National de la Recherche Agronomique* (INRA) de Poligny.

Su peripecia en el mundo de la enseñanza, como ya he señalado antes, comienza en la Universidad de Navarra impartiendo docencia de “Nutrición y Dietética”. Posteriormente se traslada a la Universidad de Murcia y en 1986, ya como Ayudante LRU, es la responsable docente de la asignatura “Tecnología de los Alimentos”, que se imparte en la Facultad de Veterinaria.

Todo fue uno en esta estudiosa nata, trabajadora infatigable y muy activa: no pierde el tiempo; en abril de 1988, ya en la Universidad Autónoma de Barcelona, gana la plaza de Profesora Titular, siendo responsable de la enseñanza de las asignaturas “Higiene e Inspección de Alimentos” y “Deontología y Legislación Alimentaria”. En 1990 se traslada a la Universidad del País Vasco, donde aprueba unas nuevas oposiciones para una plaza de Profesora Titular por el área de conocimiento de “Nutrición y Bromatología”. En esta universidad su actividad académica no se limita a las labores docentes e investigadoras, sino que al mismo tiempo desempeña el cargo de Vicedecana de la Facultad de Farmacia.

En 1991 regresa a Pamplona y se incorpora a la Universidad Pública de Navarra, para impartir las asignaturas de “Nutrición y Dietética”, en la Diplomatura de Enfermería y de “Química de los alimentos”, en la Ingeniería Agronómica. Posteriormente, en 1993, obtiene la Cátedra de “Nutrición y Bromatología”. En esta universidad ocupa diversos cargos académicos, tales como Directora del Departamento de “Tecnología de Alimentos” y Vicedirectora de Gestión Académica. Desde 1996 hasta 2011 también es vocal del Consejo Social de la Universidad Pública de Navarra.

De su productividad docente podemos destacar dos libros, uno titulado “Análisis sensorial de alimentos: métodos y aplicaciones” y otro bajo la denominación de “Nutrición y dietética: de la teoría a la práctica”.

Con respecto a su desbordante actividad científica hay que destacar que su investigación se inició en el ámbito de la Nutrición y que la prosiguió en el campo de la Calidad Alimentaria. En ésta última, destacan sus aportaciones bromatológicas en torno a los productos lácteos, en particular las relativas a los quesos de oveja con denominación de origen en el País Vasco y en Navarra. La experiencia en éste ámbito ha sido reconocida al permitirle formar parte de programas de control de calidad alimentaria. Así pues, ha sido miembro del Consejo Regulador del Label Vasco de Calidad Alimentaria, vicepresidenta del *Entente Européenne pour l'Enseignement Laitier* (EUROPEL) y comisionada por la FAO-CHIAM para el desarrollo del sector lácteo de Albania. En febrero de 1995 fue elegida, en Bruselas,

Vicepresidenta de la Cooperación Europea para la Investigación Científica y Tecnológica (Acción COST-95).

El resultado de esta actividad científica han sido las numerosas comunicaciones y conferencias en congresos nacionales e internacionales, así como publicaciones en revistas de gran relevancia.

La seriedad, capacidad de trabajo y rigor de la Profesora Yolanda Barcina le van situando en la máxima posición científica, acudiendo periódicamente a los foros más prestigiosos.

Tuve la fortuna de conocerla hace 30 años, por formar parte del tribunal que juzgó su plaza de Profesora Titular de la Universidad Autónoma de Barcelona; obviamente brilló en todos los ejercicios y obtuvo el primer puesto.

La Dra. Yolanda Barcina ya se había labrado y perfeccionado una trayectoria científica y le reclamaba ahora el magisterio. En efecto, su rango docente había ido creciendo desde que comenzó a impartir docencia, para poder cerrar ese círculo maravilloso que supone transmitir los conocimientos, a veces difícilmente adquiridos.

También esta brillante universitaria ha destacado con luz propia en el complicado mundo de la política. Ha sido la primera mujer que ocupó la Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda del Gobierno de Navarra, ejerciendo el cargo con gran eficacia, durante el periodo 1996-1999. Su destacada actividad le condujo a ser también la primera mujer Alcaldesa de Pamplona durante tres periodos consecutivos (1999-2011). Todo ello la hizo acreedora a ser elegida Presidenta del Gobierno de Navarra durante el mandato 2011-2015, siendo la Presidenta del partido político Unión del Pueblo Navarro (UPN) desde 2009 hasta 2015. Ha sido una española valiente en circunstancias difíciles y comprometidas, como no podía ser menos en esta mujer de casta y raíces recias.

Al terminar su legislatura en 2015, decidió integrarse plenamente en la Universidad y retornar al *Alma Mater Studiorum*. Afortunadamente nuestra Real Academia Nacional de Farmacia (RANF) se percató de la valía de Yolanda, decidiendo sabiamente incorporarla en su seno.

Asumo hoy un alto honor y una gran responsabilidad, pues nuestra Academia ha decidido que sea yo quien tenga el privilegio de presentar a la Profesora Yolanda Barcina Angulo, una mujer buena, una madre cariñosa, hija ejemplar de una maestra vocacional, una reciente e ilusionada esposa,

una destacada farmacéutica, una magnífica profesora universitaria y gran investigadora, que va dejando escuela. Es una joven sabia y atractiva, además de afable y simpática.

Así pues, constituye un reto para mí, tratar de resumir en pocas palabras su intensa y fecunda vida, dedicada a la docencia e investigación; también a la política con “mayúsculas”, donde ha sido un personaje ejemplar por su dedicación y rigor en todas sus actividades, contribuyendo a engrandecer su nueva tierra navarra de adopción.

Como no podía ser menos en una mujer de esta categoría, también tienen cabida prioridades en su vida privada. Dejó la política activa tras las últimas elecciones forales, a las que voluntariamente no concurrió, para recuperar su labor profesional y centrarse en su vida personal junto a D. Manuel Pizarro (hijo de un farmacéutico turolense), miembro de la Real Academia de Jurisprudencia y legislación.

A pesar de su desbordante vida pública, le gusta la vida tranquila, la música, la lectura, la naturaleza y le encantan los largos paseos por la montaña o el borde del mar.

Su ingente labor ha sido valorada con numerosos reconocimientos, premios y distinciones, tanto a nivel nacional como internacional: Doctora “Honoris Causa” por la Universidad San Ignacio de Loyola en Lima (Perú), Profesora Honoraria de la Universidad de Varna (Bulgaria) y de la Universidad Nacional de Rosario (Argentina). Le han concedido el premio otorgado por el Colegio Oficial de Farmacéuticos de Navarra a “Farmacéuticos con una trayectoria significativa” y ha recibido la Cruz del Comendador de la República Federal de Alemania.

Actualmente es Catedrática de la Universidad Pública de Navarra y Académica correspondiente de la Academia de Veterinaria de la Región de Murcia. Señalaré también que es Consejera de Telefónica Audiovisual Digital.

La densa actividad de la Dra. Yolanda Barcina, nos da argumentos sobrados para sentirnos orgullosos de incorporar a nuestra Academia, a una mujer prestigiosa, que por los méritos de su obra y su tesón, representa a la aristocracia farmacéutica. Con su saber acrecentará y ensanchará los horizontes de nuestro conocimiento.

Quiero destacar que en la vida de esta profesora ejemplar, de tan generosa dedicación a aprender y enseñar ciencia, también tienen cabida sus amigos, entre los que tengo el privilegio de encontrarme.

El tema elegido por la Dra. Yolanda Barcina en su discurso de investidura, representa una actualizada simbiosis de sus trabajos, que estoy seguro será de su agrado e interés. La Profesora Barcina, nos va a introducir en el sugestivo mundo del Medio Ambiente y su relación con la Farmacia.

Admirada profesora, hoy su fama y su ciencia se cuajan físicamente en el corazón de esta noble Real Academia Nacional de Farmacia del Instituto de España, en Madrid, que os recibe con la hospitalidad y el sentimiento de la justicia, debida y aplicada, a una vida como la vuestra de total dedicación al trabajo.

En la Profesora Yolanda Barcina, los que la conocemos y queremos, sabemos que sus defectos (porque haberlos, *haylos*) se convierten en virtudes, pues es impulsiva, ambiciosa e impaciente, ya que todo lo quiere solucionar con rapidez y eficacia. Es muy madrugadora, comunicativa e infatigable trabajadora.

Yolanda, con tu presencia entre nosotros se ensancharán los horizontes de nuestro conocimiento.

¡Enhorabuena, paisana!. Tu incorporación a esta docta institución nos llena de orgullo y deseamos permanezcas en ella durante muchos años, entre amigos y compañeros; pues como dice el Poema del Mío Cid “*A todos alcança onrra por el que en buen ora nasció*”.

Muchas gracias.

Benito del Castillo García
Madrid, 16 de febrero de 2017

