

4. Resultados y examen

La importancia de los incrementos y pérdidas de superficie bruta de bosques y cambios netos en la superficie de bosque, sopesados y enmarcados en un marco anual fue comprobada en cada región y ámbito climático utilizando distintos tipos de análisis:

- La prueba de Welsh (bilateral) para indicar si los incrementos, pérdidas y cambio neto son distintos a 0 (Tabla 3);
- Modelos lineales generales para calcular pendientes y la importancia de la pendiente e intersección (Tabla 4);

TABLA 3
Significancia de los cambios netos anuales y de los incrementos y pérdidas brutas para las regiones y ámbitos climáticos

	Cambio significativo, 1990–2000			Cambio significativo, 2000–2005		
	neto	incremento	perdida	neto	incremento	perdida
Ámbitos						
Boreal	*	*	*	*	*	*
Subtropical	*	*	*	*	*	*
Templado	*	*	*	*	*	*
Tropical	*	*	*	*	*	*
Región						
África	*	*	*	*	*	*
Asia	*	*	*	*	*	*
Europa		*	*		*	*
América Central y del Norte	*	*	*		*	*
Oceanía	*	*	*		*	*
América del Sur	*	*	*	*	*	*
Mundial	*	*	*	*	*	*

Note: * indicates a value significantly different from 0 ($p < 0.05$) using Welsh's t-test.

TABLA 4
P valores de pendiente de la recta formada por un modelo lineal general que pone en relación el cambio neto anual y los incrementos y pérdidas brutos con el período de la encuesta por región y ámbito climático

	Neto		incremento	Perdida
Ámbitos				
Boreal	0.167		0.000	0.001
Subtropical	0.895		0.178	0.009
Templado	0.018	↑	0.003	0.417
Tropical	0.000	↓	0.664	0.000
Región				
África	0.000	↓	0.787	0.000
Asia	0.515		0.014	0.122
Europa	0.133		0.646	0.030
América Central y del Norte	0.027	↑	0.000	0.339
Oceanía	0.595		0.438	0.780
América del Sur	0.001	↓	0.928	0.000
Mundial	0.001	↓	0.000	0.000

Las diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los períodos de la encuesta están en verde. Para el cambio neto, la dirección de la flecha indica si hubo una pérdida neta de la superficie de bosque (↓) o si hubo un incremento (↑)

- Análisis de varianza (ANOVA) para detectar interacciones entre ámbito climático y año (Tabla 5);
- Análisis de máxima verosimilitud restringida (REML) como una herramienta más sólida para evaluar diferencias e interacciones infiriendo varianzas desiguales en las poblaciones de la muestra (Tabla 6).

LA SUPERFICIE DE USO DE TIERRAS FORESTALES DISMINUYÓ ENTRE 1990 Y 2005

La figura 9 muestra la superficie estimada de bosque por región en 1990, 2000 y 2005, y la figura 10 muestra la superficie estimada de bosque por ámbito climático para los mismos años. La superficie total de bosque en 2005 era de 3.8 millardos de ha, lo cual equivale aproximadamente al 30 por ciento de la superficie mundial de la tierra. Hubo una reducción neta en la superficie mundial de bosques entre 1990 y 2005 de 66.4 millones de ha, es decir el 1.7 por ciento.

INCREMENTOS Y PÉRDIDAS MUNDIALES DE BOSQUE

La reducción bruta del uso de tierras forestales en todo el mundo fue de 9.5 millones de ha por año entre 1990 y 2000 y de 13.5 millones de ha por año entre 2000 y 2005. Esta reducción fue parcialmente neutralizada por incrementos en la superficie de bosques por medio de la forestación y expansión natural de los bosques de 6.8 millones de ha por año entre 1990 y 2000 y 7.3 millones de ha por año entre 2000 y 2005. Por lo tanto, la tasa de pérdida neta anual de bosque aumentó considerablemente ($p < 0.05$) pasando de 2.7 millones de ha entre 1990 y 2000 a 6.3 millones de ha entre 2000 y 2005 (Tabla 7). Las figuras 11 y 12 muestran estos cambios por región geográfica y por ámbito climático.

DIFERENCIAS REGIONALES EN LA PÉRDIDA E INCREMENTO DE BOSQUES

En América del Sur, la conversión significativa de bosques a otros usos de la tierra se verificó en ambos períodos de la encuesta: 2.8 millones de ha por año entre 1990 y 2000 y 4.3 millones de ha por año entre 2000 y 2005. En África, hubo pérdidas netas anuales estadísticamente significativas en la superficie de bosques de 1.1 millones de ha entre 1990 y 2000 y de 2.7 millones de ha entre 2000 y 2005.

TABLA 5

Prueba de ANOVA para el cambio neto anual de la superficie del bosque, por ámbito climático y año

Fuente	SS tipo III	df	Medios cuadráticos	ratio F	p-value
Ámbitos climáticos	1.096	3	0.365	237.686	0.000
Año	0.053	1	0.053	34.678	0.000
Ámbitos climáticos x Año	0.164	3	0.055	35.499	0.000
Error	40.162	26 124	0.002		

TABLA 6

Los resultados de REML para el cambio neto anual por ámbito climático y período de encuesta (1990–2000 y 2000–2005)

Efecto	Nivel del efecto	Estimación	Error estándar	df	t	p-value
Ámbitos climáticos	Boreal	0.003	0.002	26123	1.083	0.279
	Subtropical	0.002	0.002	26123	0.962	0.336
	Templado	0.002	0.002	26123	0.81	0.418
	Tropical	-0.007	0.002	26123	-2.879	0.004
Año		0.000	0.000	26123	0.346	0.729
Ámbitos climáticos x Año	Año x Boreal	0.000	0.000	26123	7.217	0.000
	Año x Subtropical	0.000	0.000	26123	1.638	0.101
	Año x Templado	0.000	0.000	26123	1.667	0.095
	Año x Tropical	0.000	0.000	26123	-3.069	0.002

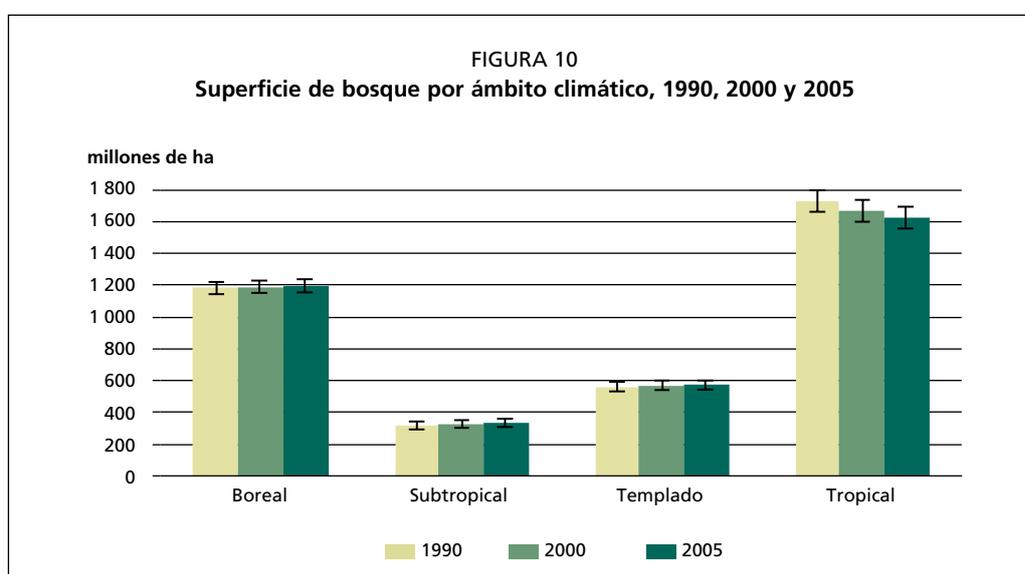
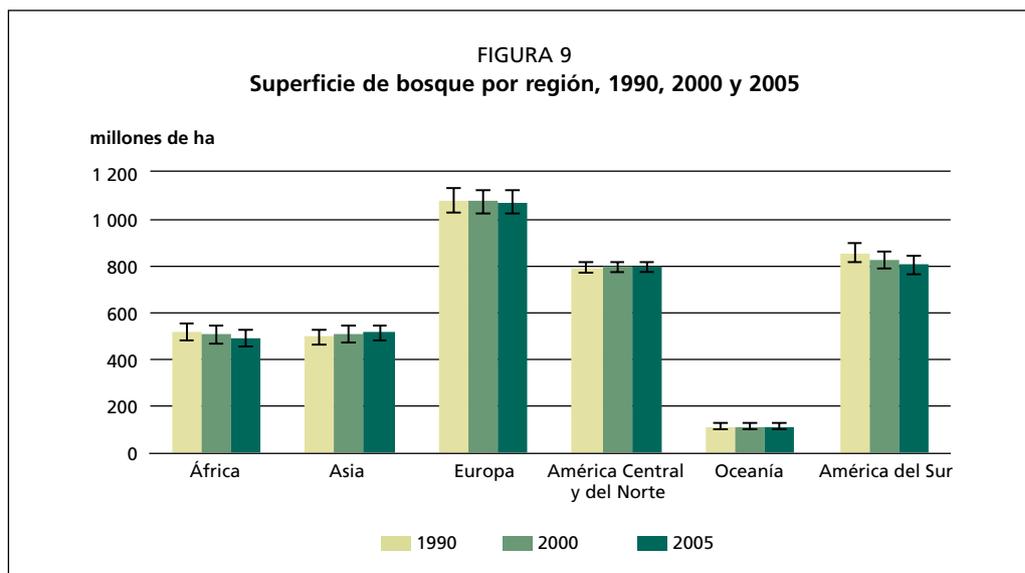


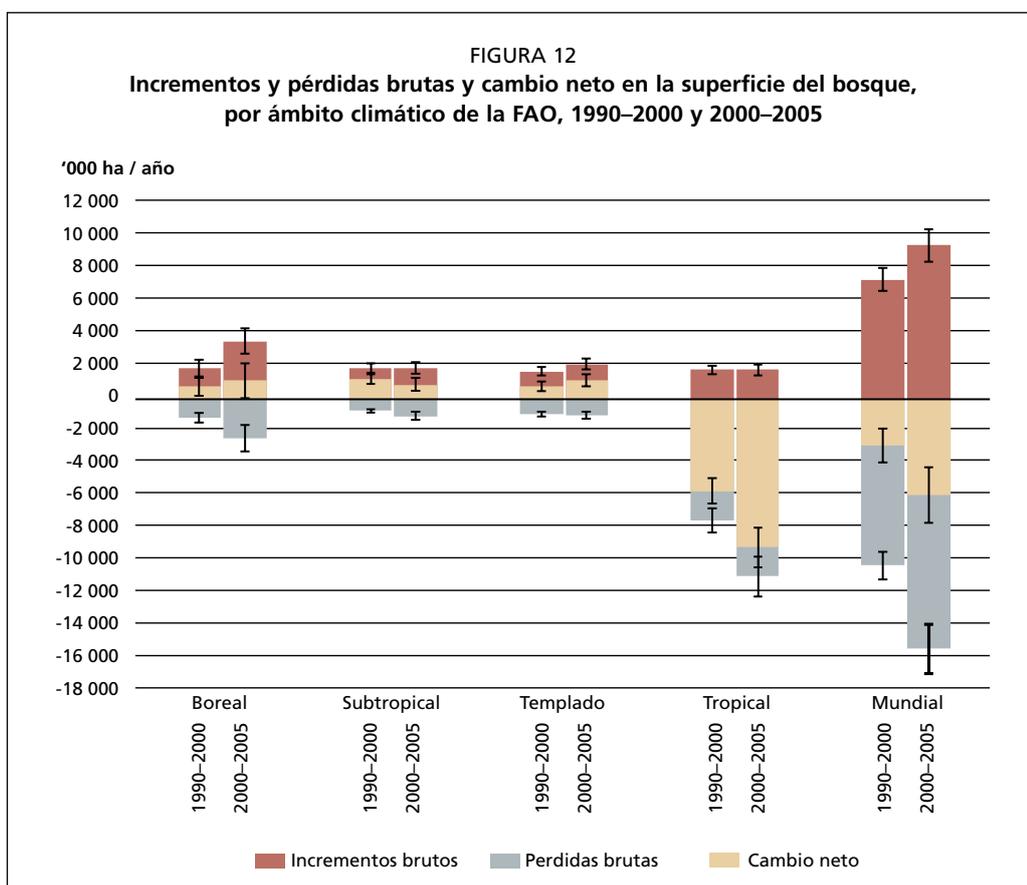
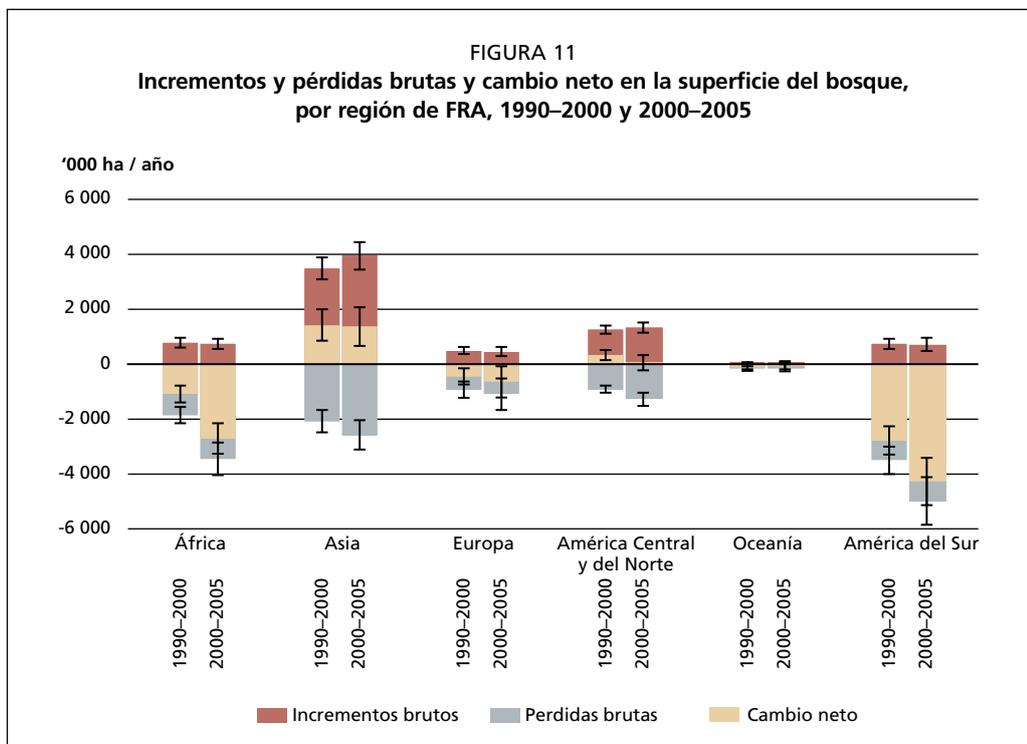
TABLA 7

Cambio neto medio anual de la superficie de bosque e intervalos de 95 por ciento de confianza entre los períodos de la encuesta para las regiones FRA y ámbitos climáticos de la FAO

	Cambio medio ('000 ha)		intervalo de confianza del 95% ('000 ha)		intervalo de confianza (%)	
	1990-2000	2000-2005	1990-2000	2000-2005	1990-2000	2000-2005
Región						
África	-1 091	-2 712	306	560	28	21
Asia	1 419	1 367	564	703	40	51
Europa	-437	-638	303	578	69	91
América Central y del Norte	323	55	190	287	59	522
Oceanía	-101	-61	87	136	86	224
América del Sur	-2 779	-4 275	516	863	19	20
Total	-2 666	-6 264	902	1 410	34	23
Ámbitos						
Boreal	776	1 153	565	1 088	73	94
Subtropical	1 212	902	295	380	24	42
Templado	787	1 152	288	364	37	32
Tropical	-5 648	-9 111	775	1 238	14	14
Total	-2 873	-5 904	1 044	1 730	36	29

M.B.: el cambio neto mundial fue calculado al sumar las estimaciones de todas las regiones FRA.

Europa, incluyendo la Federación Rusa, tuvo una pérdida anual neta de superficie de bosque estadísticamente significativa de 0.4 millones de ha entre 1990 y 2000 y de 0.6 millones de ha entre 2000 y 2005. Oceanía tuvo pérdidas netas anuales significativas de bosque de 0.1 millones de ha entre 1990 y 2000 y no tuvo cambios significativos



en la superficie de bosque entre 2000 y 2005. Hubo un incremento anual neto medio significativo en América del Norte entre 1990 y 2000 de 0.3 millones de ha, pero no se verificó ningún cambio neto significativo entre 2000 y 2005. En Asia, hubo incrementos netos anuales medios estadísticamente significativos en la superficie del bosque, siendo éstos de 1.4 millones de ha entre 1990 y 2000 y de 1.4 millones de ha entre 2000 y 2005.

La pérdida neta de bosques fue mayor en el ámbito climático tropical durante ambos períodos: 5.6 millones de ha por año entre 1990 y 2000 y 9.1 millones de ha por año entre 2000 y 2005.

Hubo incrementos netos anuales significativos en la superficie de bosque en el ámbito climático templado de 0.8 millones de ha entre 1990 y 2000 y de 1.2 millones de ha entre 2000 y 2005.

En el ámbito climático boreal hubo incrementos anuales netos significativos en la superficie de bosques de 0.8 millones de ha entre 1990 y 2000 y de 1.2 millones de ha entre 2000 y 2005. El alto coeficiente de variación de estas estimaciones, sin embargo, señala que existe una vasta gama de estimaciones de cambio en la superficie de bosque, lo cual podría deberse a problemas en la clasificación del uso de la tierra y de la cubierta de la tierra en esta zona.

El ámbito climático subtropical mostró un incremento neto anual en la superficie del bosque de 1.2 millones de ha entre 1990 y 2000 y 0.9 millones de ha entre 2000 y 2005.

DIFERENCIAS EN LA TASA ANUAL DE CAMBIO POR REGIÓN Y POR ÁMBITO CLIMÁTICO

Hubo una interacción significativa entre el ámbito climático y el año (Tabla 5), lo cual significó que las diferencias entre los períodos de la encuesta no fueron los mismos en todos los tipos de ámbito climático. Estas diferencias en la tasa de cambio neto del bosque entre los distintos períodos de tiempo fueron significativas en los ámbitos climáticos boreal y tropical y no tuvieron significancia en los ámbitos templado y subtropical (Tabla 6). El único ámbito climático que mostró una pérdida neta fue el del trópico, en donde el cambio neto anual pasó de una pérdida de 5.6 millones de ha en 1990–2000 a una pérdida de 9.1 millones de ha en 2000–2005.

El análisis REML de la tabla 6 permite establecer una correlación espacial y temporal y una varianza desigual entre las poblaciones y puede ser más sólido que ANOVA en cuanto al análisis de los datos de la encuesta. El análisis REML es utilizado para reducir las probabilidades de cometer errores de tipo 1 a la hora de determinar la importancia estadística de algunos resultados (Picquelle and Mier, 2011).

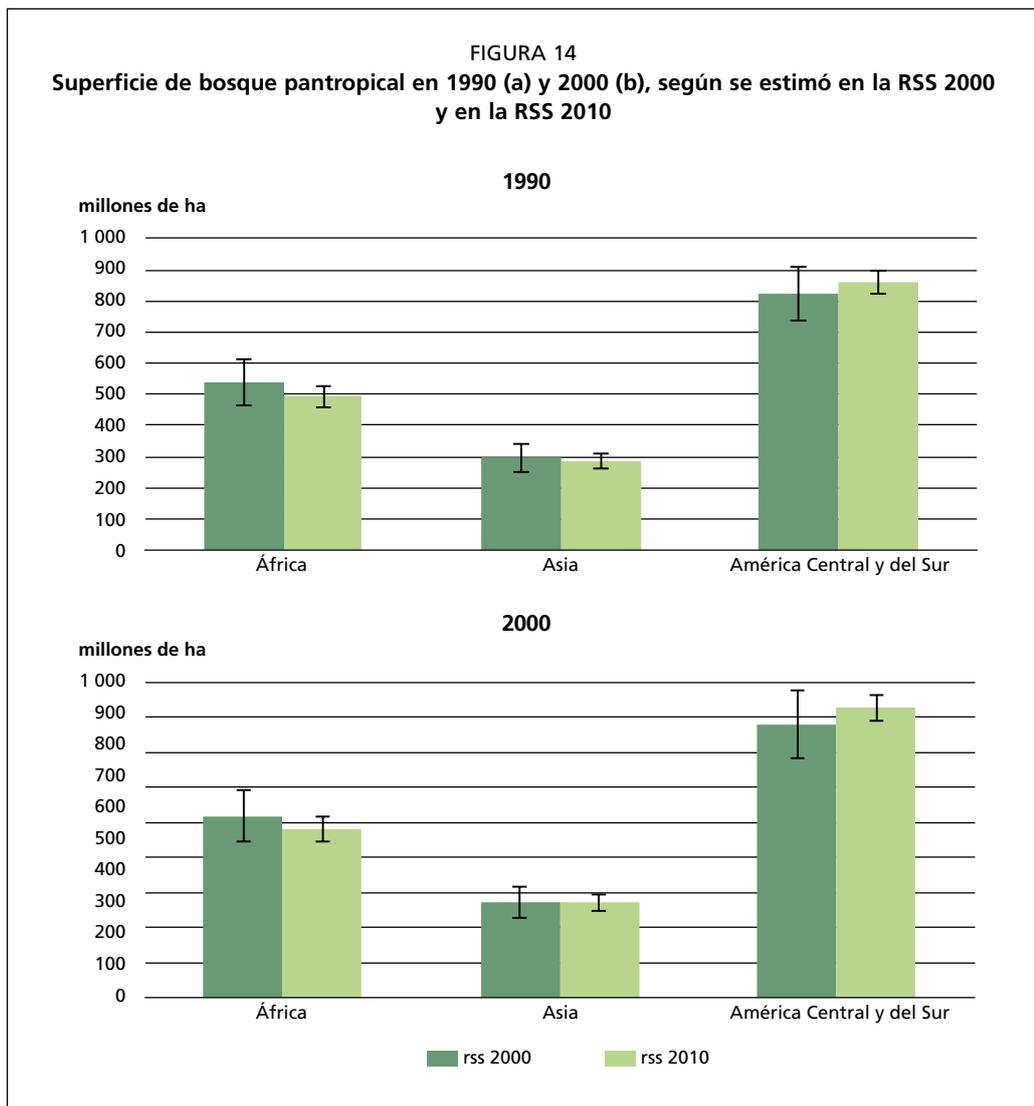
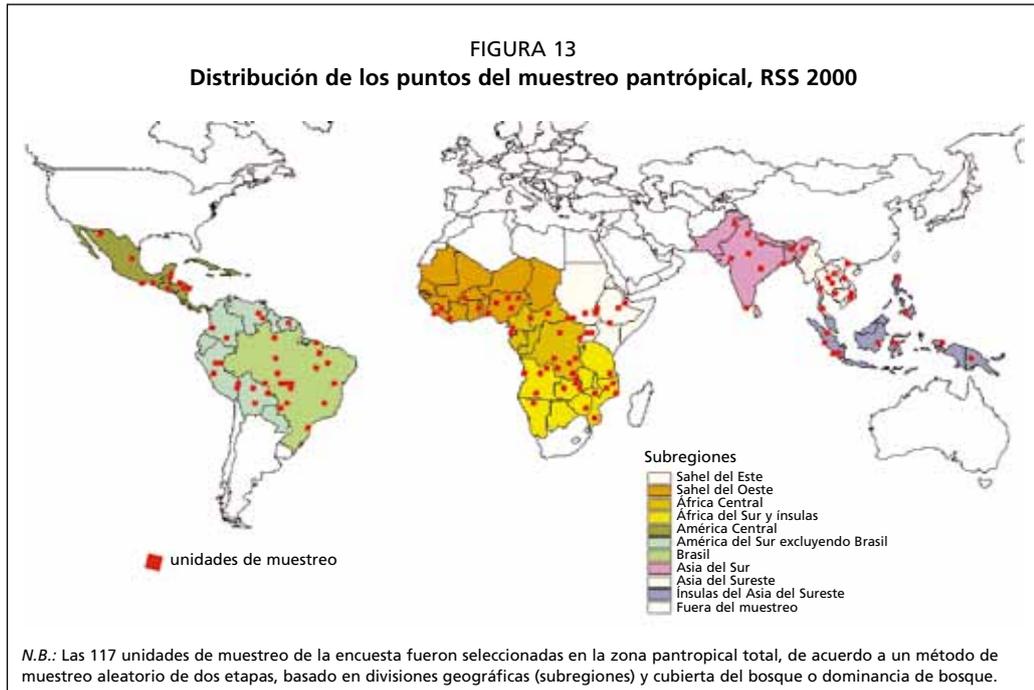
En décadas recientes, el trópico ha sido considerado como la fuente mayor de pérdida neta de bosque. Este estudio confirma esta tendencia y el hecho de que la mayoría de las pérdidas se verificaron en América del Sur y en África (Tabla 7).

COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS DE LA FAO

La siguiente sección establece una comparación entre las estimaciones de la superficie de bosque y el cambio en la superficie de bosque efectuadas en este proyecto con aquellos producidos por encuestas pantropicales de teledetección realizadas anteriormente por la FAO y con aquellos presentados en los informes tabulares de FRA 2010 (utilizando datos proporcionados por los países).

Comparación con la encuesta de teledetección pantropical de FRA 2000

La FAO (2001) condujo una encuesta de teledetección de la superficie del bosque en el trópico para los años 1990 y 2000; a partir de entonces, a dicha encuesta se le denomina Encuesta de teledetección 2000 (RSS 2000). Los datos de la encuesta de teledetección de 2010 fueron agregados utilizando los mismos límites geográficos utilizados por la RSS 2000 (Figura 13) y las estimaciones de la superficie de bosque, de pérdida bruta de superficie de bosque y de cambio en la superficie de bosque para los años 1990 y 2000 fueron objeto de comparación (Figura 14).



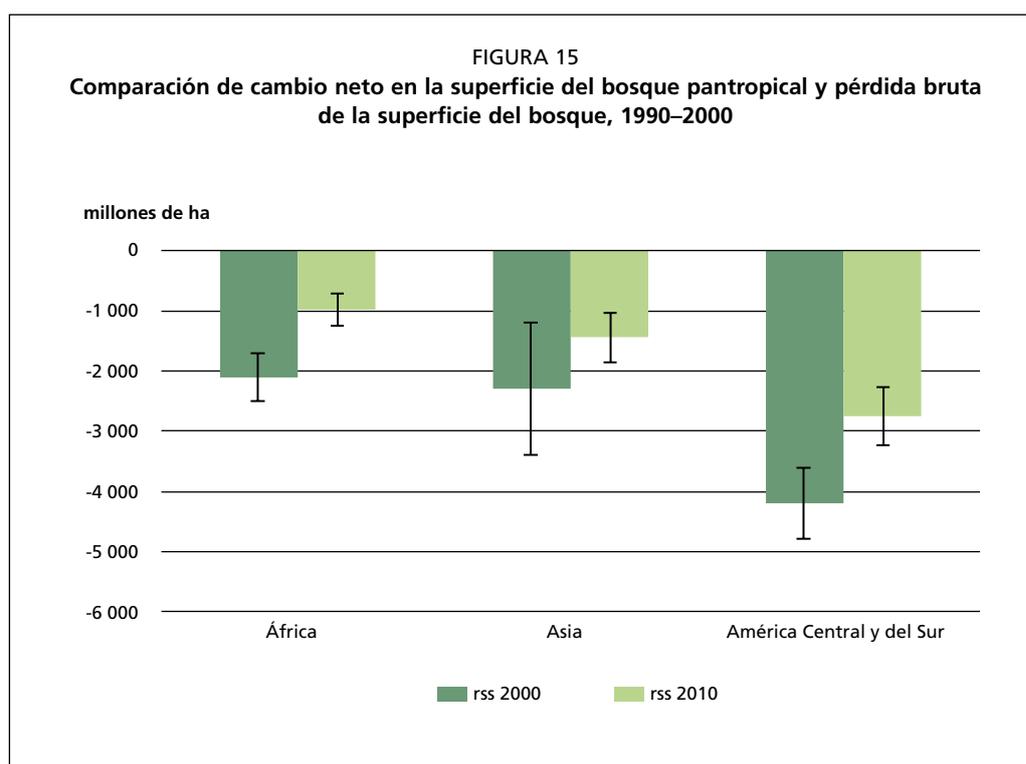
Las estimaciones de la superficie total de bosques y de la pérdida bruta de superficie de bosque para el período 1990–2000 no tuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las dos encuestas. La diferencia en estimaciones de cambio neto de la superficie de bosque entre las dos encuestas no resultaron ser significativamente diferentes en Asia, América del Sur y América Central, pero sí fue significativamente distinta ($p < 0.05$) en África (Figura 15). La RSS 2000 se concentró en zonas de cubierta del bosque y no incluyó muestras de zonas carentes de bosque, lo cual podría explicar por qué las estimaciones de la pérdida neta de bosque eran más altas por lo general en la RSS 2000 respecto a la encuesta RSS 2010.

La RSS 2000 consistió en 117 escenas completas de Landsat (que representaban una superficie de muestreo total de 250 millones de ha) y, en el área que coincide con ambas encuestas, la RSS 2010 consistió en 3 631 sitios de muestreo (que representaban una superficie total de muestreo de 36 millones de ha). La mayor parte de las muestras de la encuesta RSS 2010 aumentaron la precisión de sus estimaciones en comparación con aquellas realizadas en RSS 2000.

La figura 16 muestra una serie temporal completa de las estimaciones de superficie de bosque tropical, por región, en 1980, 1990, 2000 y 2005 provenientes de las encuestas de teledetección de FRA. Las estimaciones de 1980 provenían de la encuesta RSS 2000 y las estimaciones de 1990, 2000 y 2005 provenían de RSS 2010.

Comparación con los informes tabulados de FRA 2010

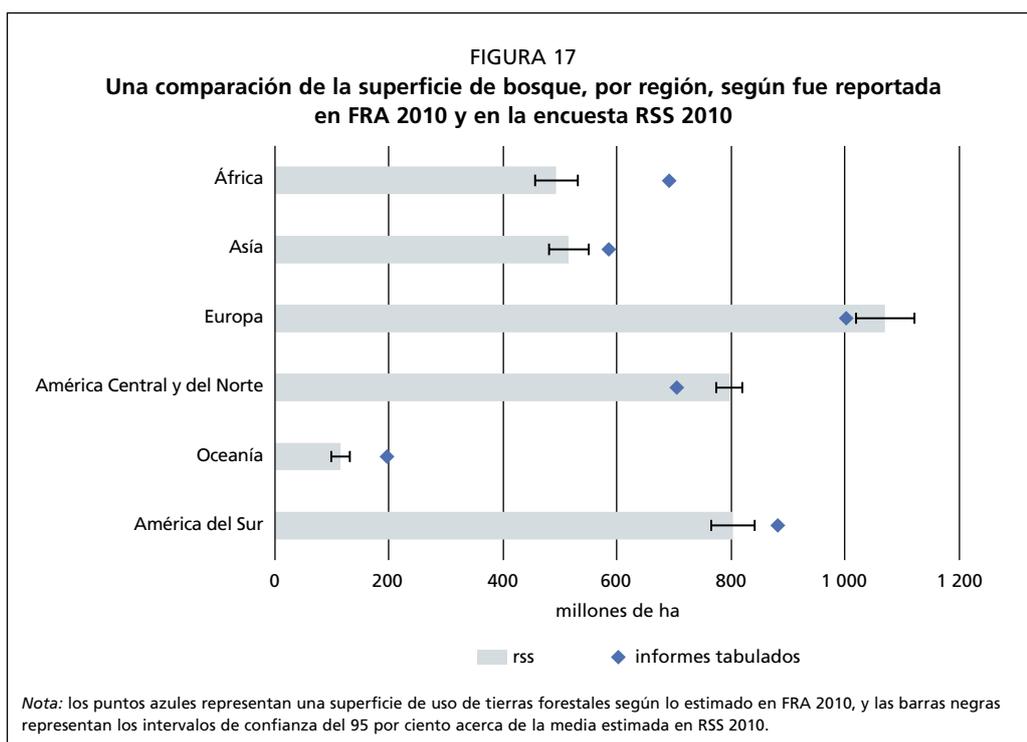
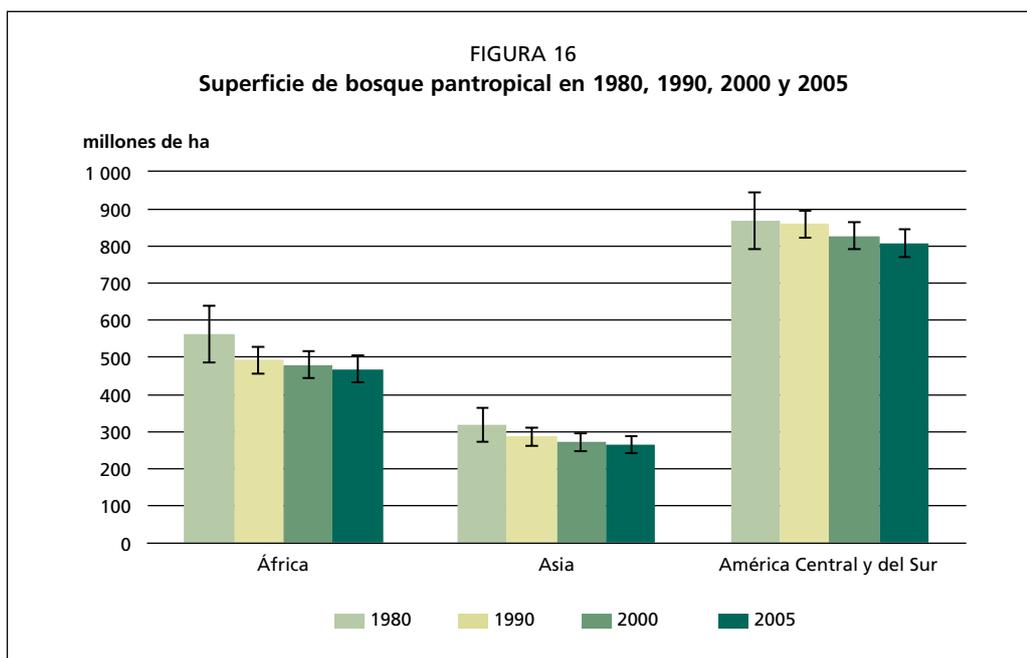
Las estimaciones de la superficie de bosque y de las tasas de cambio en la encuesta RSS 2010 difieren de aquellas presentadas en las tablas de FRA 2010, tanto para la superficie de bosque, como para el cambio anual en la superficie de bosque. Las diferencias entre “situación” (por ej. Superficie de bosque) y “tendencia” (por ej. Cambio en la superficie de bosque) del uso de las tierras forestales son complejas. En la siguiente sección, se examinan las diferencias entre la encuesta RSS 2010 y los informes tabulados de FRA 2010 (de ahora en adelante denominados FRA 2010) en lo que respecta a varios criterios claves, incluyendo la definición de bosque, los métodos de elaboración de informes de ambas encuestas, y la calidad en general de la información aportada.



Diferencias en la superficie del bosque

Las estimaciones de la superficie de bosque en África en 2000 era casi de 200 millones de ha (29 por ciento) superior en FRA 2010 respecto a la encuesta RSS 2010 (Figura 17). En una base porcentual, la principal diferencia se encontró en Oceanía, en donde la superficie de bosque estimada en 2000 era de 41 por ciento (81 millones de ha) superior en FRA 2010. Diferencias similares en la superficie de bosque se observaron en las estimaciones de 1990 y 2005.

Las diferencias en las estimaciones de la superficie forestal entre este estudio y el de FRA 2010 se deben probablemente a las diferencias de los métodos de encuesta y de elaboración de informes utilizados y a un aspecto relativo a la teledetección debido a la definición de bosque. Los métodos utilizados para establecer estimaciones en FRA

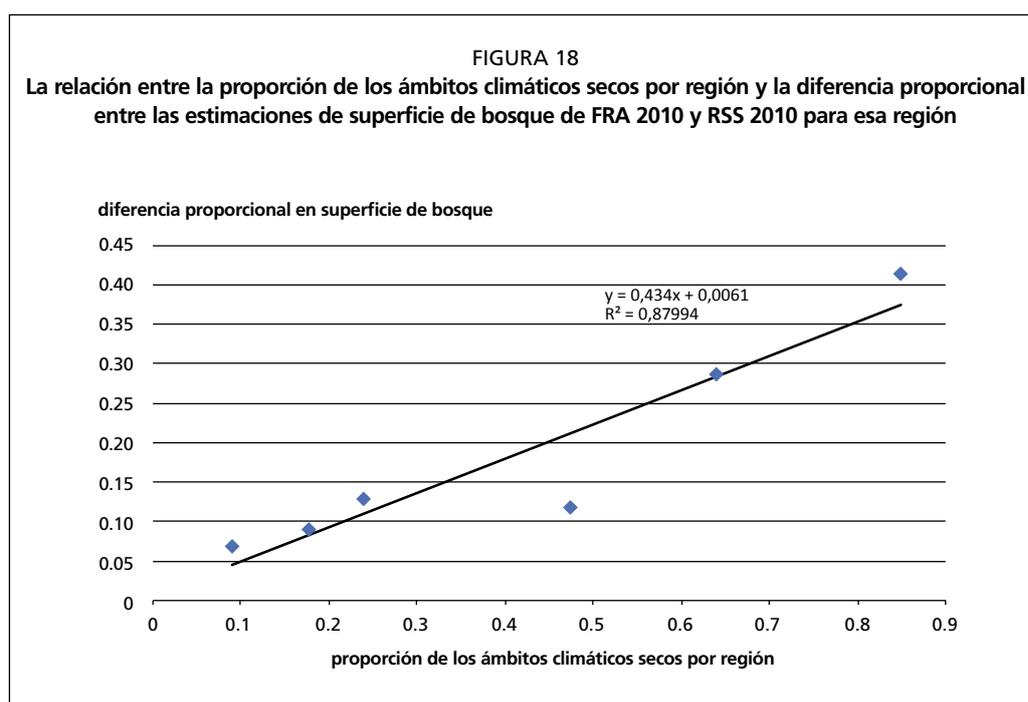


2010 varían de país a país e incluyen el uso de inventarios forestales nacionales, estudios de teledetección y opiniones de expertos. Los cuestionarios nacionales de FRA 2010 tenían un formato estándar con el fin de mejorar la coherencia entre los países, pero las diferencias entre los estándares de elaboración de informes de los países condujeron a la generación de incoherencias en el análisis, tanto de la situación, como de la tendencia de la superficie de bosques. Por ejemplo, algunos países no presentaron los cuestionarios completos de FRA durante FRA 2010. En dichos países, la situación de la superficie de bosques y la tendencia se produjeron a partir de fuentes de datos auxiliares o de cifras reportadas con anterioridad (FAO, 2001). Dependiendo de la frecuencia y estándar de la elaboración del informe, se incurre en el riesgo de que las estimaciones sean obsoletas y de precisión desconocida (Matthews, 2001).

Actualmente África cuenta con los datos más antiguos, en un cálculo basado en la superficie, de todas las regiones de FRA (Ö. Jonsson, comunicación personal, 2012). El uso de información desactualizada, que requería de extrapolación, a veces en el curso de varias décadas, con el fin de producir estimaciones para FRA 2010 contribuye a la variación observada entre estimaciones de superficie de bosques en los dos estudios.

La definición de bosque utilizada tanto en FRA 2010, como en RSS 2010 se caracteriza por un umbral bajo para la cubierta de copas (es decir, > 10 por ciento), lo cual es difícil de detectar utilizando imágenes satelitales de resolución espacial media, así como es difícil delinear con precisión el campo centrándose exclusivamente en el nivel de parcela. La superficie de bosque con cubierta de copas de menos del 20 por ciento no puede ser detectada con precisión en una imagen satelital de resolución media tal como Landsat. Se está trabajando para determinar los umbrales del porcentaje de cubierta de copas clasificados como bosques en RSS 2010 por medio de la incorporación de imágenes de alta resolución espacial en lugares seleccionados. Una caracterización más coherente de sitios con bajo porcentaje de cubierta de copas podría reducir algunas diferencias entre las dos metodologías.

Con el fin de comprobar la teoría que señala que la dificultad de delinear el bosque de cubierta de copas baja (por lo general en zonas más secas de bosque) contribuye a las diferencias de estimaciones de superficie de bosques entre FRA 2010 y RSS 2010, la proporción de una zona ecológica seca por región estaba relacionada con la diferencia absoluta en las estimaciones de superficie del bosques. La figura 18 muestra un alto

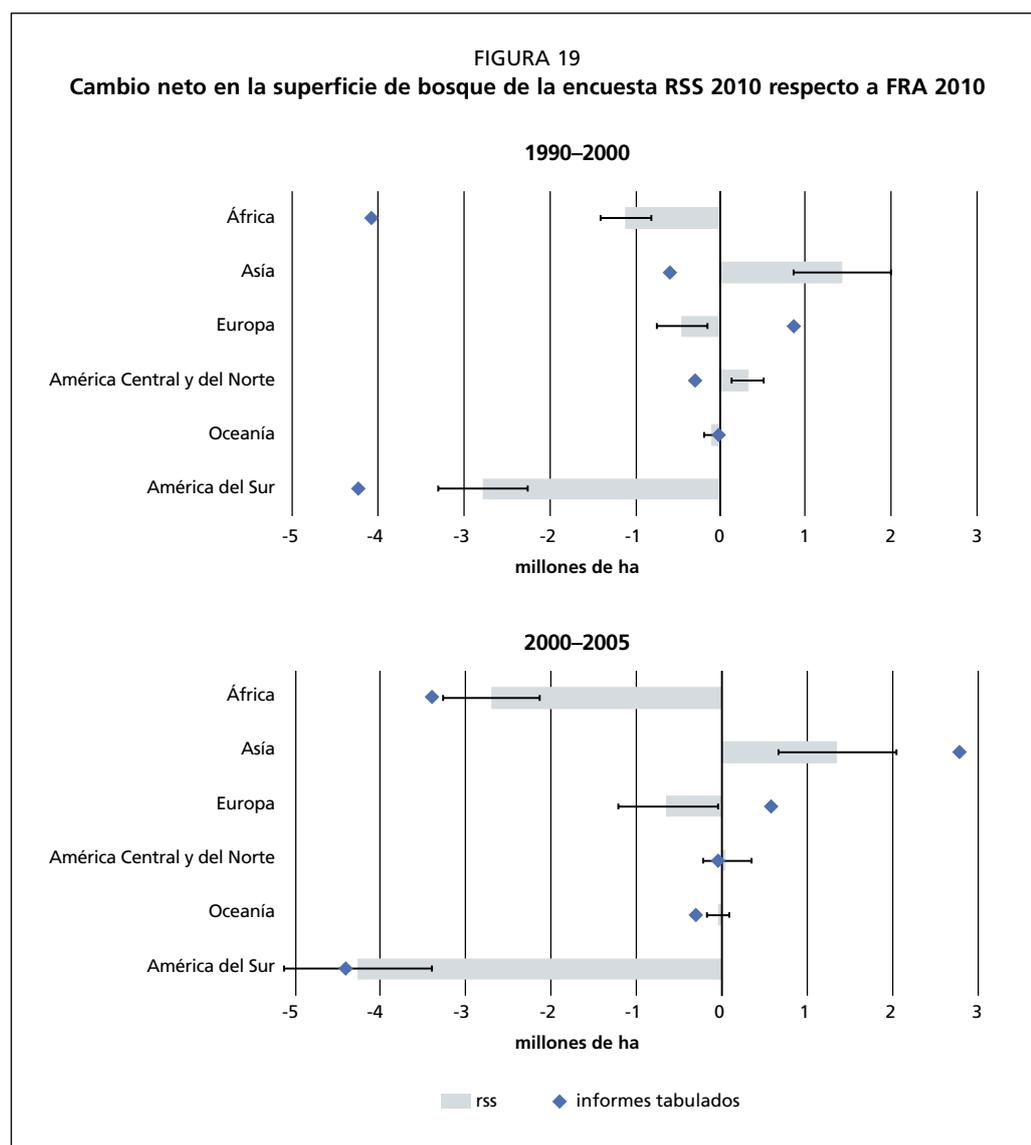


grado de correlación entre la superficie de tierras secas y las diferencias de estimación de superficie del bosque entre FRA 2010 y RSS 2010; la falta de certeza en las estimaciones de la superficie de bosque en tierras secas, por lo tanto, puede contribuir a las diferencias en las estimaciones de la superficie de bosque.

Diferencias en el cambio neto de superficie de bosques

Las estimaciones del cambio neto en la superficie de bosques en RSS 2010 también difieren de aquellas reportadas en FRA 2010. El cambio neto total era inferior en este estudio (66.4 millones de ha) respecto a FRA 2010 (107.4 millones de ha). La magnitud de la tasa anual de cambio también fue diferente. Los resultados de RSS 2010 señalan que la tasa anual de pérdida neta de superficie de bosque creció de cerca de 3 millones de ha en el período 1990–2000 a 6 millones de ha en el período 2000–2005. FRA 2010, por otro lado, señala una disminución de la tasa de pérdida neta anual de bosque de 8.3 millones de ha en 1990–2000 a 4.8 millones de ha en 2000–2005.

Las diferencias en las estimaciones netas de cambio entre las dos encuestas se deben principalmente a la incertidumbre relativa a la superficie de bosques y el cambio en África, Asia y América del Sur (Figura 19). En el período 1990–2005, la encuesta RSS 2010 estimó una disminución neta inferior en la superficie de bosque en África y América del Sur, así como un incremento neto superior en la superficie del bosque en



Asia con respecto a FRA 2010. La encuesta RSS 2010 indicó un incremento neto en la superficie de bosque en Asia en ambos períodos, mientras que FRA 2010 estimó una disminución neta en la superficie del bosque entre 1990 y 2000 y un incremento neto entre 2000 y 2005.

Debería ser tomado en consideración que FRA 2010 no informó de manera específica acerca de la pérdida de bosque como una variable individual y distinta; más bien, las estimaciones de cambio en los bosques provenían de la diferencia que existe entre estimaciones de la superficie de bosque en el curso del tiempo. Por lo tanto, los errores en los informes sobre la superficie de bosque pueden ser compuestos, o deberse a una confusión de estimaciones acerca del cambio en la superficie del bosque.

CAUSAS DEL CAMBIO EN EL USO DE LA TIERRA

El tipo de causa al cual se debe el cambio de uso de la tierra no fue evaluado en este estudio, según se había planificado originalmente. La atribución de tipos de uso de la tierra por parte de los expertos nacionales a clases más detalladas demostró ser difícil en el tiempo asignado durante los talleres de examen y revisión. Por lo tanto, mientras la conversión del uso de tierras forestales a otros usos de la tierra y viceversa, pueden ser analizados fácilmente, los resultados de la encuesta RSS 2010 no indican si las pérdidas de bosque pueden ser atribuidas a usos específicos (por ej. tierras de pastoreo o tierras agrícolas). De manera similar, los incrementos en la superficie del bosque pueden deberse a la expansión natural de bosque o al establecimiento de plantaciones.

La literatura científica existente puede ser utilizada para ganar mayor conocimiento acerca de las causas de la conversión de uso de las tierras forestales. Los resultados de la encuesta reafirmaron que las zonas tropicales dan cuenta de la porción más grande de pérdida neta total de bosque. Gibbs *et al.* (2010) volvieron a analizar los datos de la encuesta RSS 2000 y estimaron que el incremento total neto en la superficie agrícola entre 1980 y 2000 en el trópico fue superior a 100 millones de ha, casi el 80 por ciento de lo que provenía de uso de tierras forestales intactas con anterioridad. En vista del incremento sostenido de la demanda de productos agrícolas para la alimentación y la energía, es probable que las causas de la conversión de bosques a otros usos en el período 2000–2005 en el trópico sea también predominantemente debido a la expansión de la agricultura (Lambin y Meyfroidt, 2011).

Los resultados de la RSS 2010 indican que la superficie de bosque incrementó en el ámbito climático templado, probablemente debido a incrementos en la plantación de bosques en Asia templada. Liu y Tian (2010) documentan un gran incremento (51.8 millones de ha) en la superficie de bosques en China debido al establecimiento de plantaciones, un proceso que inició en la década de 1950 y que continúa hasta la fecha. FRA 2010 confirma parcialmente este hallazgo en China, informando acerca de un incremento en la superficie del bosque de cerca de 2.5 millones de ha anualmente – de un total de 49.7 millones de ha – entre 1990 y 2010.

Los resultados de la RSS 2010 también muestran un incremento en la superficie de bosque en el ámbito climático boreal, aunque este incremento es sorpresivo y aún más difícil de explicar. El incremento puede deberse a la repoblación del bosque en grandes superficies de tierras agrícolas abandonadas desde el colapso de la Unión Soviética. Kuemmerle *et al.* (2010) estiman la tasa de expansión natural de bosque en tierras agrícolas abandonadas en Ucrania desde 2000 a 8 600 ha por año. Tasas similares de expansión natural de bosque pueden estar ocurriendo en los casi 26 millones de ha de tierras agrícolas abandonadas en la Federación Rusa, Belarús y Kazajistán (Lambin y Meyfroidt, 2011).

Otra explicación posible respecto al incremento de superficie de bosque detectado en el ámbito climático boreal podría ser la identificación errada de zonas quemadas como uso de la tierra no forestal en períodos de tiempo anteriores. En Canadá, un examen y revisión de las clasificaciones de uso de la tierra, efectuados de manera

principalmente automatizada, se llevaron a cabo utilizando la enorme Base Nacional de Datos de Incendios de Canadá (Stocks *et al.*, 2002) con el fin de identificar las superficies incendiadas y volver a clasificar la otra cubierta de la tierra en uso de tierra forestal en los casos en que se consideró que los incendios eran la causa de la pérdida de bosque. La Base Nacional de Datos de incendios de Canadá incluye los incendios superiores a 200 ha de extensión y representa cerca del 97 por ciento de la superficie total incendiada anualmente en Canadá (Stocks *et al.*, 2002). La asignación errada de etiquetas de incendios pequeños como uso no forestal de la tierra u otras discrepancias entre la detección de la cubierta de la tierra de la encuesta RSS 2010 y la Base Nacional de Datos de incendios de Canadá pudo haber contribuido a crear un incremento artificial en la superficie de uso de tierras forestales como regeneración de superficie incendiada.

EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN

Este estudio no contempló la realización de una evaluación formal sobre la precisión de la clasificación del uso de la tierra. Es difícil encontrar fuentes de datos de resolución espacial más alta, de resolución temporal apropiada o de mayor confiabilidad, especialmente a nivel mundial, con respecto a la cual se puedan verificar las etiquetas de uso de la tierra clasificadas automáticamente y revisadas por los expertos. Una comparación de las etiquetas de la cubierta de la tierra clasificadas automáticamente antes y después del examen y revisión de expertos indicó que existe una concordancia general del 77–81 por ciento (Lindquist *et al.*, datos presentados). Las comparaciones de las clasificaciones de cubierta de la tierra revisadas por expertos que contaban con imágenes satelitales de alta resolución espacial fueron seleccionadas en la Federación Rusa e indicaron que la revisión de expertos podía aportar el 100 por ciento de precisión al esquema de clasificación dicotómico bosque/otras tierras (Bartolev, 2012 datos no publicados).

Se espera que la cubierta de la tierra reflejará el uso subyacente que se hace de la tierra en la mayoría de los casos; por lo tanto la precisión alcanzada por los métodos utilizados, debería proporcionar una indicación de las estimaciones de precisión en general. Sin embargo, las excepciones a la generalización de equivalencia cubierta de la tierra/uso de la tierra son importantes y significativas. En el futuro, se harán mayores esfuerzos para establecer un método para evaluar de manera más completa la precisión de la clasificación de uso de la tierra.